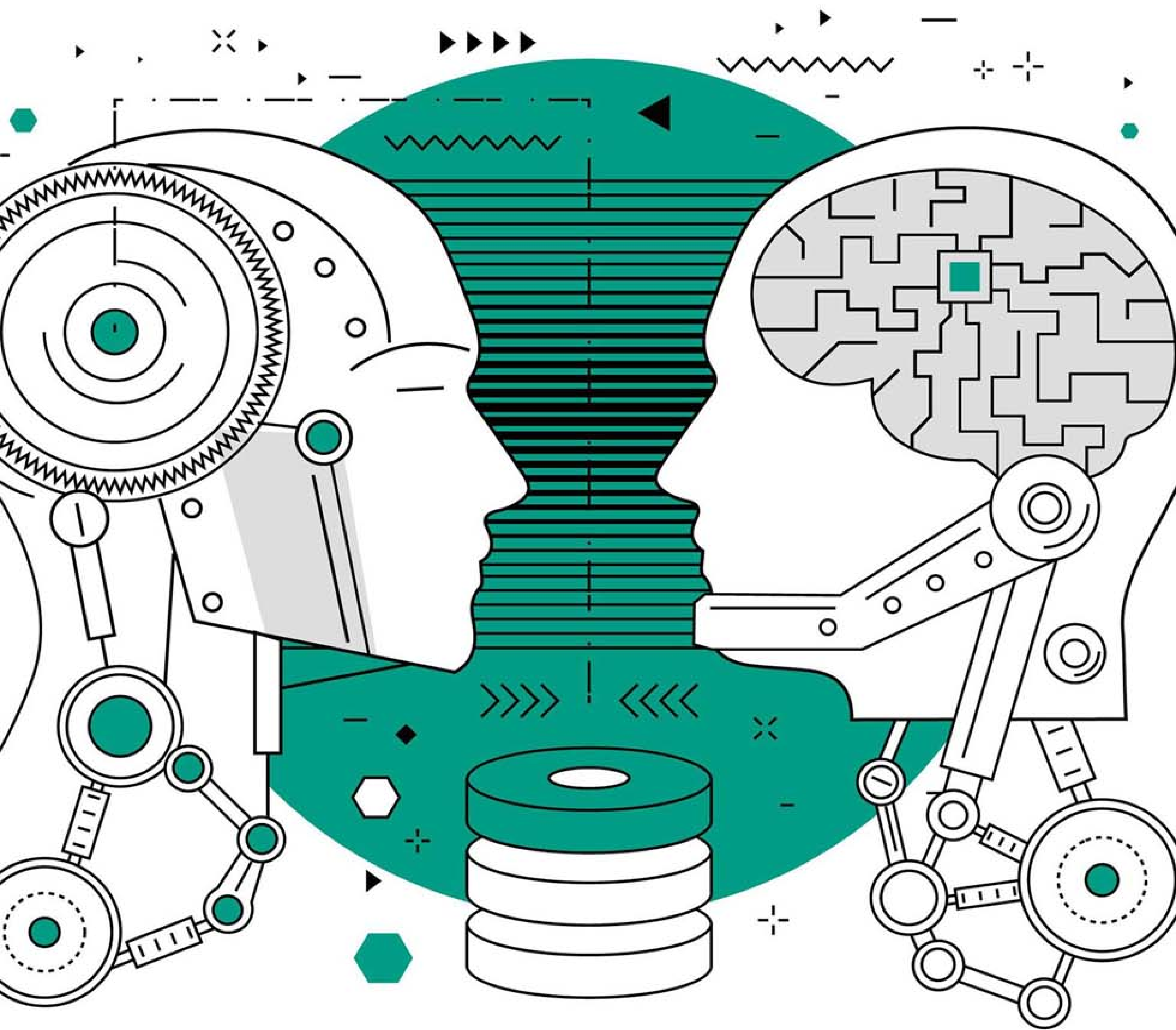
David Mindell

[美] 戴维·明德尔 著 胡小锐 译



Robotics and the Myths of Autonomy

Our Robots, Ourselves

智能机器的未来

人机协作对人类的工作、生活以及知识技能的影响

中信出版集团

版权信息

书名:智能机器的未来

作者:[美]戴维·明德尔

译者:胡小锐

ISBN:9787508674834

中信出版集团制作发行

第1章
机器人时代，人应该扮演什么角色？

　　机器人和自动化技术正在改变我们的世界，但我们应该关注的问题不是“有人驾驶”还是“无人驾驶”，而是人类处于什么位置和扮演了什么角色。

深夜，在南美洲的巴西与非洲之间广袤的大西洋上空，一架客机正在高空飞行。突然，飞机遭遇恶劣天气，装在机头位置的皮托管迅速结冰。这些皮托管的任务是监测气流速度并将数据传送至控制飞行的计算机。本来，即使没有这些数据，这架飞机仍然可以在计算机的控制下正常飞行，但程序控制器却做出了飞机无法控制的判断。

于是，自动化电传飞行控制系统停止工作，将飞机控制权交给了坐在驾驶舱里的两名飞行员：32岁的皮埃尔·凯德里克·博南和39岁的戴维·罗伯特。略感疲惫的博南与罗伯特尚在休息，突然接到驾驶飞机执行高空夜航的任务，他们不由得大吃一惊。即使在最有利的条件下驾驶大型客机也是一项艰巨的任务，何况他们已经有很长一段时间没有亲自操控飞机了。58岁的机长马克·迪布瓦当时不在驾驶舱，因此，在集中精神驾驶飞机的同时，他们还要呼叫机长回到他们身边。

虽然计算机自动控制系统停止工作之后，飞机仍然在平稳地向前飞行，但是那些非常不利的飞行数据却让两位飞行员无所适从。一位飞行员将手中的操纵杆向后拉，坐在另一侧的飞行员却将操纵杆向前推，以致在一分多钟之后，飞机失去了控制。

2009年6月1日，法国航空公司447号航班坠入大海，200多名乘客与机组人员无一生还。飞机沉入大海，几乎不见任何踪迹。

对于全球性国际航空网络系统而言，一架客机就这样凭空消失，这显然让人无法接受。于是，一场规模浩大、多方协作的搜索工作随之展开。几天之后，人们在海面上发现了法国航空公司447号航班的一些线索。但是，要找到坠毁的飞机机身以及记录事故原因的“黑盒子”，则需要在海底进行大面积搜索。事实证明，搜索工作的进展非常缓慢。

两年后的一天，在客机坠海地点正下方3.2千米深的位置，一架形状酷似鱼雷的“里莫斯6000”型无缆自主水下机器人（AUV）承受着巨大的水压，以比常人步速略快的速度，在漆黑的深海里静悄悄地行进。它与海底的距离一直精准地保持在约60米，因为在这个高度，超声波扫描声呐形成的图像最清晰。在扫描宽度为7.6千米的情况下，机器人从回波信号中收集的数据多达数千兆字节。

由于是山区地形，海床隆起的坡度较陡。尽管机器人具有一定的智力水平，但偶尔还是会碰撞到海底，不过大多数情况下都不会受损。一共有三架机器人协同作业，两架在水下搜索，一架在海面的舰船上休息，以便人们下载搜索数据、给它充电，并制订新的搜索计划。

水面上有一支由12名伍兹霍尔海洋研究所的工程师组成的队伍，负责人是率队完成搜索机器人设计及升级工作的迈克·珀塞尔。他们实行两班倒，同赛车维修保障团队一样忙碌。一架机器人浮出水面之后，工程师们要耗时45分钟，将机器人搜集到的数据下载至电脑，然后利用30分钟的时间处理这些数据，在电脑显示屏上进行快速预浏览。

在工程师们小心谨慎地进行计算时，一些法国和德国的调查人员以及法国航空公司的代表站在他们身后，密切关注搜索工作的进展。现场的气氛非常紧张。毕竟，这件事不仅关系到法国的民族自尊心，关系到这架客机的制造商——空中客车公司，而且关系到所有空中飞行的安全。在这之前，他们已经进行了几轮调查，但都一无所获。在法国、巴西乃至全世界范围内，有很多家庭一直在焦急地等待着调查结果。

声呐数据非常复杂，单靠计算机难以判断它所代表的含义。日复一日，珀塞尔和这些工程师们凭借多年积攒的丰富经验，在电脑显示屏前认真察看，希望可以通过声呐图像从起伏不平的海底发现目标。5天过后，这种枯燥单调的节奏终于被打破了：一堆碎片出现在声呐图像中，接着飞机残骸也出现了。这明显说明在这片海底荒漠中出现了人造物品，但是仍然无法确定这就是法航447号航班的残骸。

工程师们调整了计划，让潜水器调转方向，在残骸区上方、距离海底9米的位置多次往返“飞行”，并利用自带的灯光和摄像头近距离拍摄照片。等机器人将照片带出水面之后，工程师与调查人员辨认出这些正是导致数百人丧生的法航447号航班的残骸。搜索工作终于有了结果。

很快，又一组人员赶了过来。他们携带的是另外一种机器人——无人有缆遥控潜水器（ROV）。这是专门用于深海救援的重型机器人，通过电缆连接到水面的舰船上。由于之前的搜索工作已经成功地绘制了这片海域的地图，借助这些地图，无人有缆遥控潜水器找到了法航447号航班用于记录声音和数据的“黑盒子”，并将它们打捞出水面。飞行员在飞机失事前几分钟的活动终于浮出水面。根据这些线索，调查人员可以重现在这架航班的机舱里发生的夺去数百条生命的混乱场景。接着，这些无人有缆遥控潜水器又开始执行打捞遇难者遗体的艰巨任务。

法航447号航班救援搜索工作使先进的自动化技术与机器人技术在大气层与海洋深处这两个极端环境中发生了联系。人与自动化系统之间的交互出现问题，导致飞机坠入大海；随后，人们又借助遥控与自主机器人找到了失事飞机残骸。

从自动化系统和自治系统这两个名称就可以看出，它们具有自主作业的能力（人们普遍也是这样理解的）。不过，在高空飞行与深海搜救时，人与机器都不是独自工作的。飞机失事与救援成功都是人与机器协作的结果。首先，人类飞行员采取种种措施，试图从更安全可靠的自动控制系统手中接管飞机操控任务；随后，科考船、卫星、浮标协同工作，精确地查找位置；再由工程师分析处理机器人搜集的数据。自动化与自主型装置需要不时地回到制造它们的人类身边，接收信息，补充能量，接受指导。

法航447号航班的悲剧清楚地告诉我们，在不断适应、改造周围环境的同时，我们自身也在发生变化。飞行员对计算机的依赖程度为什么越来越严重，以致一架飞行状况良好的飞机葬身大海？机器承担着越来越多的重要任务，那么人类在运输、探索、战争等活动中应该承担哪些任务呢？

一些人偏激地认为，人类即将遭到淘汰。《科学美国人》（*Scientific American*）杂志指出，机器人“只需一次软件升级”即可实现完全自主。同时，他们还警告说，机器人正在朝我们袭来——它们正在融入我们熟悉的环境。还有的人对人工智能扑朔迷离的发展前景充满担心，认为人类即将迎来超级智能时代。机器人技术和自动化将改变我们周围的世界，这种改变甚至已经悄然发生。初创公司如雨后春笋般纷纷成立，利用人类期盼已久的智能机器，帮助我们完成工作、体力劳动和日常生活中的一些单调乏味的任务。由于机器人与人类共同生活、工作，而且在身体、认知与情感上与人类非常亲密，因此越来越多的人认为这是一个前景光明的研究领域。以制造完全自主

机器人为目标的自动化在不断激发人们的灵感和创新热情的同时，也令人为之忧心忡忡。

目前，人们的兴奋之情还仅限于实验的成果。所有这些技术远未成形，更不用说它们产生的社会、心理和认知意义了。机器人会给我们带来哪些变化？我们要把机器人打造成什么形象？如果工作领域因为机器的介入而变得面目全非，那么传统意义上由人类扮演的角色，包括科学家、律师、医生、士兵、经理，乃至司机和清洁工，将来该由谁来做呢？我们的生活与工作将发生什么样的变化？显然，这些问题的确切答案还不得而知。

我们不需要绞尽脑汁地推测，因为未来的图景已经初现端倪。虽然我们的日常生活目前风平浪静，但在那些极端环境中，早在几十年前，我们就开始使用机器人和自动化技术了。在大气层和海洋深处，甚至在太空中，人类无法独立生存。在这些环境中工作的人，因为必须面对这些危险环境而被迫率先启动机器人与自动化技术的研发工作，但在人类更熟悉的领域却没有这样做。

在极端环境的逼迫下，人与机器必须最大限度地密切合作，因此，这类环境成为创新的理想场所。在这里，工程师们在做实验时享有充分的自由。尽管与外界隔绝，但他们可以率先领略到各种技术的认知效应和社会效应。由于人的生命、昂贵的设备和重要的使命都面临风险，因此在采用自主技术时必须反复强调安全性和可靠性。

在极端环境中，我们暂时告别了日常生活忙乱的节奏，周围的黑暗也被抛之脑后，而置身于人类生活与技术构成的一个个短暂、梦幻般的故事中。从本质上看，在客机驾驶舱里或者在深潜器内部发挥作用的社会与技术力量，与在工厂、办公室或汽车里起作用的那些力量差别不大。只不过在极端环境中，它们的外形更加精简，因此也更易操控。飞机的每次飞行，与海洋考察活动、太空飞行和军事行动一

样，都为我们讲述了一个故事。通过特定人物与机器发生的这些故事，我们可以从中窥见微妙的动态。

人类在汽车、医疗保健、教育等活动中所采用的那些技术，如果应用于极端环境，将有助于我们了解人类社会的短期发展前景。人类操控、遥控机器以及自主机器人的发明，是机器与人的潜力得到充分发挥的体现，是新的存在与体验形式。但与此同时，它们也把人们的注意力吸引到飞机和舰船的残骸、伦理内涵以及与智能机器为伴的生活方式上来。我们发现，未来人类的知识与存在感将比以往更加重要，只不过在方式上可能会让我们感到有些陌生。

而且，这些机器确实非常棒。我敢肯定，像我这样一直对飞机、太空飞船和潜艇等情有独钟的人不在少数。人们对技术的痴迷以及在实际应用方面的探索，将为这些故事不断地谱写出新的篇章。因此，科幻小说常以这类故事作为主题绝非偶然，因为人与机器的能力极限总能激发我们的想象力和好奇心，让我们对人类的未来充满期待。

当然，这种痴迷有时会让我们过于轻信技术的前景。但是，思想成熟的人关注的往往是一些哲学问题和人本主义问题：我们是谁？我们如何工作，如何处理人与人之间的关系？我们创造的这些机器将通过哪些途径使我们的体验得以延伸？如何在一个未知世界中生活得自由自在？在与各种机器人及运载工具的制造者和操控人员交流时，这些问题在我们的脑海里盘旋翻转，呼之欲出。

请与我一起，借助一手资料、广泛深入的访谈和麻省理工学院等机构的最新研究成果，探讨在深海、航空（包括民事与军事）、航天等极端环境中，机器人技术与自动化技术的应用情况。我们将看到人们操控机器人和利用自主型装置完成工作，我们还将看到人机交互对我们的工作、体验以及知识技能的影响，所有这些并非对未来的想象，而是活生生的现实。

我们的探索活动从深海搜救开始。25年前，一位工程师为深海机器人设计的便携嵌入式计算机及其他设备令我惊讶不已。我发现，在科技的作用下，海洋研究工作与海洋研究人员都在发生一些令人意想不到的变化。

这一发现使我同时具备了两种身份。一方面，作为一名学者，我研究的是机器对于人类社会的意义，我的研究对象包罗万象，比如美国内战期间的铁甲舰和帮助阿波罗登陆月球的计算机及软件。另一方面，作为一名工程师，我将我的研究成果应用到实践中，制造与人亲密合作的机器人与运载工具。在本书讲述的故事中，我有时是一名参与者，有时是一名旁观者，有时则是双重身份。

多年来，通过亲身体验、调查研究、与他人对话，我深切地感到我们需要改变对机器人的看法。我们对机器人的认识往往源于20世纪的科幻小说，而不是我们现实生活中应用的科技成果。例如，遥控飞机被称作“无人机”，似乎我们可以放心地让这种飞机自动飞行，但实际上，它是在人的严密控制之下完成飞行动作的。人们（包括机器人的买卖双方）把机器人看作完全自主的装置，事实上，即使最低程度的自主性也始终伴有人类的想象力。我们使用的形形色色的机器人并没有摆出令人害怕的架势，而是像我们一样成功地融入了社会技术网络。在下文中，我们将通过大量实例，了解人类是如何与这些机器一起工作的。人机协作是其中的关键。

为了更好地了解人类与其发明的机器人之间的关系，有必要先了解这些拥有强大能力的机器人到底为我们做过什么。我赞同一个经过深入研究后得出的经验性结论：无论机器人在实验室里有什么样的表现，一旦它们接近处于危险环境中的人类的生活环境和关键的现实资源时，我们就会加强对机器人自主性的审查与干涉。我不是否认这些机器的智能性，也不是说它们有可能丧失智能性，我认为这些机器并不是“超人”。

我们以20世纪关于机器人与自动化技术的三个错误观点为例。第一个错误观点是线性发展观，它认为技术会从人类直接参与发展到远程参与，最终发展成完全自主机器人。在公开场合积极倡导自主型系统的政治学者彼得·辛格，是抱持这种观点的典型代表人物。他认为，“由于政策制定者与技术都把让人类变成局外人作为自己的目标，因此，试图保持人类局内人身份的观念受到了他们的双重侵蚀”。

然而，并没有证据证明辛格所说的“技术自动演变”是一个必然发生的过程。事实上，有大量确凿的证据表明人类与机器之间正在形成一种日益密切的关系。

我们不时地发现人与遥控或自主型工具相互影响、携手前进的实例。例如，如果载人飞机的驾驶方式不变，无人驾驶飞机就不可能问世。在另一个领域中，由于航天器上采用了新型机器人技术，因此人类航天员使用哈勃太空望远镜的方式也与以前有所不同。最先进的（也是最难的）技术不是那些没有人类参与的技术，而是那些深深地嵌入并响应人类社会网络的技术。

第二个错误观点是取代观，它认为机器将有条不紊地接管人类的工作。这个错误观点是所谓的“铁马现象”在20世纪的翻版。人们原以为火车将取代马匹，但事实证明，用火车取代马匹的效果并不理想。直到人们发现火车可以发挥与马匹截然不同的作用之后，他们才接受了火车。人因工程研究人员和认知专家发现，自动化技术通常不是将原本由人类完成的任务变成简单的“机械性”任务，而是增加任务的复杂程度和工作量（或者将工作量转嫁给其他人或机器）。例如，无人驾驶飞机不是简单地重复载人飞机的任务，而是执行新的任务。遥控机器人在火星上从事的工作并不是取代人类的实地研究，而是与人类一起以新的方式进行实地研究。

第三个错误观点是完全自主观。这种不切实际的观点认为，（现在或者将来的）机器人可以彻底地独立工作。的确，自动化技术当然

可以接手之前由人类完成的某些任务，在某些时候，机器也可以根据所处的环境决定自己的行为。但是，完全摆脱人类指示的机器毫无使用价值。能够真正实现自主的只有石头（不过，石头的形成过程与所处位置同样要受周围环境的影响）。自动化技术可以改变人类的参与形式，但人类的参与不可或缺。即便某个系统看上去是一个自治系统，我们也总能发现，这个系统之所以有价值、可以得出有意义的数据，是因为它是由人类操控的。不久前，美国国防科学委员会在一份报告里指出："不存在完全自主的士兵、水兵、飞行员和陆战队员，同样地，完全自治的系统也不存在。"

为了正确认识21世纪的机器人与自动化技术，特别是更加新颖的自主性概念，我们必须先深入了解人类将自己的意图、计划与推测植入机器的过程。在操控机器时，每位操作人员都会与该机器的设计者及编程人员交互，其媒介就是这台机器的设计与程序。即使设计与编程工作是多年之前完成的，设计者与编程人员对机器的影响作用也一直存在。法航447号航班上的计算机在空速数据出现问题、无法提供数据输入的情况下仍然有可能保证飞机安全抵达目的地，但程序员编写的程序却要求计算机停止工作。即使人们可能无法预测到软件采取的某些行动，这些软件也只能在既定的框架下运行，并且必然受到设计者设定的限制条件的约束。系统的设计原理、设计人、设计目的都会影响到系统的能力，以及它与使用者之间的关系。

我创作本书的目的就是帮助大家摆脱错误观点的影响，深入了解21世纪应用于具体环境的自主技术。我希望借助书中的实例，把公众的认识重新引导到正确的方向上来，并为大家描绘一幅新时代的概念图。

本书在提及各种运载工具和机器人时都会依托"载人、遥控和自主性"这个基本概念，其中"载人"是用来替代"有人驾驶"这个概念的。很显然，载人工具是指我们都非常熟悉的船只、飞机、火车与汽车等工

具。在使用这些机器时，人们的身体与这些机器同时运动。尽管载人系统与内部有人乘坐的机器人越来越相似，但大家通常并不把它们视为机器人。

“遥控”一词（例如遥控水下机器人）仅仅是指操控人员的身体与机器之间的关系。尽管从认知学角度看，遥控操作与直接的手工操作是两个差别不大的概念，但人的身体是否出现在操作现场，以及任务本身可能导致的危险却有深远的文化意义。战争就是一个最典型的例子。与传统意义上的战争相比，在千里之外遥控指挥战争显然是一种不同的体验。作为一种认知现象，人的存在总是与社会关系有着千丝万缕的联系。

自动化同样是20世纪的概念，指机器具有某种机械性，只能根据预定的程序按部就班地工作。人们经常用“自动化”这个词表示飞机上的计算机，实际上，这些计算机里有非常复杂的现代算法。相较而言，“自主性”是一个时髦词汇，自主技术也是美国国防部在缩减规模时优先考虑的对象。有人认为自主性与自动化是两个截然不同的概念，但我认为两者只是程度不同，自主性包含远比反馈回路复杂的自我决定理论，以及从人工智能等领域引入的先进理念。当然，个人与团体的自主自治是人们一直争论不休的政治、哲学、医学与社会学概念。两者有某种联系并不奇怪，因为科研人员经常借用社会学概念来形容他们研发的机器。

即使在工程技术领域，自主性也有多种不同含义。航天器设计中的自主性不同于任务规划等功能，而是指机器（包括沿轨道运转的探测器和可移动机器人）上载有处理器。在我任教的麻省理工学院，涉及自主性的工程课程主要探讨“路径规划”的问题，即如何在合理的时间内由一点运动至另一点，而且途中不会碰到任何障碍物。在其他具体环境中，自主性类似于智力，即像人类一样根据任务与情境做出决策的能力，也就是超出设计者的意图或者预期、自我决定的能力。自

主水下机器人之所以如此命名，是因为这种机器人与无人有缆遥控潜水器不同，无须连接长长的电缆。然而，工程师们都知道，前者只是半自主机器人，因为它无法完全摆脱人类的操控。

“自主性”这个表达具有非常大的灵活性，说明机器的操控方式可能随时发生变化。最近，有一份报告首次采用了“日益增强的自主性”这个表达，认为自主性是一个相对概念，同时强调“完全”自主（即无须人类操控的机器）是永远无法实现的目标。事实上，“自主”可以被有效地定义为：人类设计而成的数据转换方式，可以把从环境中检测到的数据转化成有目的的计划和行为。

语言确实非常重要，可以让争论变得精彩纷呈，但我们不能受到语言的束缚。我本人就经常借用研究对象所使用的语言（尽管这些语言有时并不准确）。本书的重点不在于各种定义，而在于通过实例说明人们在现实生活中是如何利用这些系统来完成体验、探索乃至战争、屠杀等活动的，以及这些系统在其中发挥了哪些作用。

关注设计者与使用者的生活体验有助于我们厘清思路。例如，“无人机”这种表达会掩盖人对机器的影响作用，把机器的有害效应都归咎于“技术”、“自动化”等抽象概念。前往“捕食者”无人机操作者隐秘的藏身地，你就会发现这些无人机并不是独立进行战斗的，它们的发明、编程和操作都是由人类完成的。目前，利用遥控无人飞机实施远程暗杀的行为引发了人们对伦理与政策问题的争论，而在美国领空范围内使用这类设备则引发了人们对隐私问题的关注。但是，这些议论针对的都是人的决策与行为（包括性质、地点以及时机选择），而不是机器。

因此，载人还是无人，人类控制还是自主作业，这些都不重要。本书讨论的核心问题是：人处于什么位置？他们是谁？他们在干什么？他们何时完成自己的使命？

人处于什么位置？（答案是在船上……在空中……在机器里……还是在办公室里？）

“捕食者”无人机操作者需要完成的工作与飞行员大同小异，例如监控机载系统、接收数据、做出决定、采取行动。但是，他们自身所处的位置与飞行员大不相同，与目的地甚至相距千里。这个不同点非常重要，决定了他们所需完成的任务、面临的风险以及任务的政治含义都有所不同。

人的意识可以穿越空间的限制，到达其他国家和星球。通过意识与感知获取的知识不同于通过身体（吃饭、睡觉、社交、排便等行为）获取的知识。在任何时候，我们获取知识的途径都必将对活动各方产生影响。

他们是谁？（答案是飞行员……工程师……科学家……非熟练工……还是管理人员？）

技术一旦发生变化，任务也会随之变化，同时发生改变的还有工作人员的性质。事实上，操作这套系统的所有人员有可能都会发生变化。成为一名空军飞行员需要接受多年的训练，一旦成功，就会在劳动等级体系中占据非常高的位置。那么，对遥控飞机操作者的技能与品格也需要有同样的要求吗？操作人员通常来自哪些社会阶层呢？民航飞机的自动化程度不断提高，与之相对应的是飞行员的人口构成也日益复杂，飞行员不再仅出自发达国家，而是来自全球各地。探索考察活动是指驾驶飞机亲临危险环境，还是坐在家中利用计算机发号施令呢？为了成为一名海洋学家，你是否愿意终日在海上漂泊？如果你不良于行，是否有机会探索火星的奥秘呢？利用远程数据完成工作的那些飞行员、探测人员和科研人员都是什么人？

他们在干什么？（答案是在飞行……在操控机器……在解读数据……还是在交流？）

需要身体力行的任务变成了一种观察任务，随后又变成了一种认知任务。以前完成这些任务需要我们投入体力，现在则需要我们集中注意力、不急不躁，还要有快速反应能力。飞行员的主要任务是通过双手完成各项操作，还是通过向自主驾驶仪或计算机中输入指令，安排飞机的飞行轨道呢？在自主驾驶状态下，人类飞行员的判断到底发挥什么作用？编写计算机程序的工程师、完成飞行准备工作的航空公司技术人员在其中又分别发挥了哪些作用？

他们何时完成自己的使命？（答案是实时……有延迟……还是几个月或几年之前？）

驾驶传统意义上的飞机是一种实时任务，人类即时输入指令，并产生即时效果。而在执行航天飞行任务时，航天器有可能位于火星上（或者正在接近一个遥远的小行星）。在这种情况下，航天器接收到指令或者操控人员看到航天器按照他们输入的指令行动，可能会有20分钟的滞后。我们可以说航天器“自动”着陆，但事实上，这种着陆是在编程人员的控制下完成的（尽管我们需要为“控制”这个概念赋予新的含义，因为编程人员的指令早在几个月或几年之前就已经发出了）。操控自动化系统就如同与“幽灵”开展合作。

通过思考这些简单的问题，我们可以认知人类角色的转换，并重新确定我们所处的位置。人类新的参与形式以及发挥的新作用并非不重要，也不仅仅是在表现形式上与以前有所不同。冒着危险、亲自驾驶飞机到达战场上空的行为，与坐在地面控制中心遥控指挥飞机相比，两者的文化认同是不一样的，而且带来的变化也非常明显。与驾驶飞机从战场上空一掠而过的飞行员相比，遥控指挥飞机的远程操控人员可能有更强烈的亲临战场的感觉。利用遥控登月车搜集的月球科研数据，并不比人类亲自登月搜集的数据差，甚至更精确、更全面。但是，从文化体验这个角度看，利用遥控登月车进行月球探索与亲自登上月球相比，两者的意义显然不可同日而语。

我们必须把那些过时的错误观点抛到脑后，代之以丰富多彩的有人类特点的场景，了解在现实世界中我们制造、操作机器人和自动化系统的真实过程。本书后面所讲述的故事既表现出技术的重要作用，又着重强调了人本主义。我们应当把载人、遥控与自主机器人视为人类参与方式与影响在时间和空间上的调整与重新定位。概括地讲，本书的主要目的是告诉我们应当关注的不是“有人驾驶”还是“无人驾驶”的问题，而是以下几个问题：人类处于什么位置？他们是谁？他们在干什么？他们何时完成自己的使命？

最后，也是最重要的一个问题是：人类的体验发生了什么样的变化？为什么值得我们关注？

第2章
深海探险：载人潜水器与水下机器人的博弈

水下机器人为我们拉开了“远程临场”时代的大幕。

坐在距离海底世界千里之遥的“书呆子探险者”，可以身临其境般看到“泰坦尼克”号沉船和加拉帕格斯群岛的海底热液。

我所在的位置是一艘潜艇的内部。狭窄的船舱看上去既像民航飞机客舱，又像20世纪50年代的野营车车厢。尽管当时已经是1997年了，但是随处可见的各种开关、不停闪烁的电子元件、形形色色的把手及手柄、绿色油漆、亚麻油毡和不锈钢器具，却让我仿佛置身于“冷战”时期的火车餐车。不绝于耳的呼啸声提醒我，这里的空气都来自一台机器。

10名海军船员相互间不停地口述各种指令与技术术语，（“塞拉，我是维克多，请停止前进！”）这样的场景与飞机驾驶舱内非常相似。两名潜艇驾驶员的座椅也同飞行员的座椅一样，都面向前方，驾驶员在左侧，副驾驶员在右侧。潜艇内部空间狭小，潜艇艇长的床铺就在驾驶员座椅后面的地板上。艇长正在睡觉，我站在他的床铺旁边，视线越过驾驶员，朝前方看去。

除了我以外，这艘美国海军“NR–1”号潜艇及其母船“Carolyn Chouest”号上还载有一些工程师、海洋学家和考古学家。我们正在向地中海进发，去执行打捞沉船的探险工作。“NR–1”号是“冷战”时期美

国与苏联对抗的产物，当时主要负责执行一些秘密任务，现在则用于民事科考活动。20世纪60年代，人们为了研究小型核潜艇的制造方法，试制了这艘45米长、可以长时间下潜的潜艇。20世纪80年代，“挑战者”号航天飞机失事坠海之后，“NR–1”号成功地打捞出了一些残骸。

我们在第勒尼安海中搜索勘查的这种地质结构叫作“谢尔克暗礁”，位于西西里岛西北方向，距该岛约70海里。从表面来看，谢尔克暗礁附近的水域没有任何异常，但水面之下暗藏两块巨大的岩礁。这处凶险的地形位于迦太基（今突尼斯）和古罗马奥斯蒂亚港之间的主航道上，导致在古代这里麻烦不断，众多经过这里的商船都难逃船体受损甚至沉没的厄运。

一天，我负责控制“NR–1”号潜艇执行搜寻这些沉船残骸的任务。几个小时之前，我和罗勃·巴拉德坐在母船上制订了探索计划。巴拉德是整个探险活动的首席科学家和总设计师，是海难事故搜救方面的专家，因为发现“泰坦尼克”号遗骸而享有盛名。经过商讨，我们设计了好多条明确、有规律的航迹线，为“NR–1”号搜索广阔海域做好了安排。巴拉德告诫我：“一定要按照这些航迹线搜索，对声呐发现的目标要有所取舍，否则你不可能完成搜索任务。”

制订了搜索计划之后，我登上潜艇。这艘潜艇的黑色船体仅比水面高出几米。在船体的上部，有一个一人高的鲜红色的瞭望塔。我进入瞭望塔侧面的一扇门，然后沿着一架很窄的梯子向下爬，来到潜艇内部。一名船员随即关上了舱门。几天之后我才能走出这扇门，因此我有一种与世隔绝的感觉。我站在那儿，看着身边的船员做下潜准备。在一系列检查、呼叫、通信之后，船员们开始转动几个手摇式阀门，潜艇便以一个舒缓的坡度缓缓下潜。

我的床铺位于狭窄走廊的上方，周围都是管道和托架，只在床尾有一个很小的开口。睡觉前，我要从这个开口处爬到床上，躺到合适

的位置，然后就无法转身了。我仰卧在那里，眼前是一束管线，再往上几厘米就是潜艇的船体。在这块钢板的另一侧，则是900米深的海水。第一天晚上，我从睡梦中醒来，感觉胸口憋闷。于是，我爬下床铺，四处走动，让自己放松下来。第二天晚上，我身体难受的程度略有缓解，但还有心理阴影。到了第三天晚上，我已经完全适应了。

在下潜一段时间之后，我们到达了900米深的海底。我们把潜艇停在谢尔克暗礁外侧，然后开始搜寻沉船残骸的线索。“NR–1”号的两侧有“侧扫描”声呐，探测范围为船体两侧几百米。但是，在“NR–1”号上发挥主要作用的还是前视声呐。每过一两秒钟，位于潜艇船头的前视声呐就会朝前方水域发出高频声波脉冲信号，然后收集回波信号并显示在电脑屏幕上。安装在“NR–1”号上的这台声呐可以探测到2 700米以外的易拉罐（我们在地中海海底发现了不少易拉罐）。

问题是，声呐只能以模糊的斑点像素的形式显示“目标”。要弄清楚这些斑点到底是什么，船员必须不辞辛劳地驾驶潜艇来到目标上方，透过窗户或者借助“NR–1”号上安装的多个摄像头近距离观察目标。由于“NR–1”号潜艇的航行速度非常慢，在海底只能以一两节（1节≈每小时1.8千米）的速度前进，与人的步速相仿。如果声呐探测到2 700米之外的某个目标，驾驶潜艇到达目标所在地点可能需要一两个小时的时间。

下潜了一个小时之后，艇上的导航员兼声呐手斯科特上尉在声呐图像上发现了目标。这个目标只有几个像素大，但是斯科特认为这可能是一个人造物品。斑点的中心密度大，周围的密度小，好像被一个光环包围着。这与岩石的声呐图像有所不同。当我们从目标上方经过时，声呐的入射余角发生着变化，但是斑点的位置与外观却没有变化，这个特征再次表明它是一个实实在在的物体，而且很有可能是人类遗留在这儿的。斯科特建议我们离开现在的航迹线，靠近这个目标。

他的这个建议是对我的领导能力的一次检验。当时，我们原计划两天完成的探险活动才刚刚开始。而且就在一两个小时之前，巴拉德还告诫我们不得偏离航迹线。但是，我必须信任这些船员。如果这次偏离航迹线的举动最终一无所获，将来我就有拒绝类似建议的理由了。

我来到“NR–1”号的观察区。这个狭小的舱室位于潜艇底部，有几扇小窗户。我们正在距离海底12米深的地方悠闲地前行。在“NR–1”号的绿色灯光照射下，我看到窗外呈现出一片绿色。我眯着眼睛仔细辨认，才能看见海底的沙子。只在微波荡漾或者一块岩石从眼前滑过，打破这片单调的绿色时，我们才能感觉到潜艇正在行进。离神秘目标越来越近了，我也做好了看到一堆岩石的心理准备。

但让我震惊不已的是，透过那片绿色我看到了100多个古代陶瓷罐。陶瓷罐散落海底，明显分成两堆，彼此间距约10米。这表明，在古代，这里发生过海难。很久之前，木质船体就腐烂殆尽了，而货物则留在这里，还能依稀看出它们当时堆放在船上的景象。两只铅质船锚被海水腐蚀后形成的铅堆，清楚地告诉我们船首所在的位置。两千多年前船沉没之后，没有人发现这些残骸，更没有人动过它们。作为最先目睹这些残骸的人，历经悠悠岁月最终出现在我们眼前的这些有形物体，令我感到无比震撼。

这是谢尔克暗礁附近的第4个已知海难地点，我按照一种比较科学的方式，把它命名为“谢尔克4号”。通过水下电话，我们把这个发现报告给水面上的同事。水下电话是一种很不稳定的通信方式，音质粗糙，即使效果好的时候，通话声音听起来也像是从一台老旧的手持式对讲机里发出的。我们小心翼翼地标注了位置，还拍摄了大量照片。

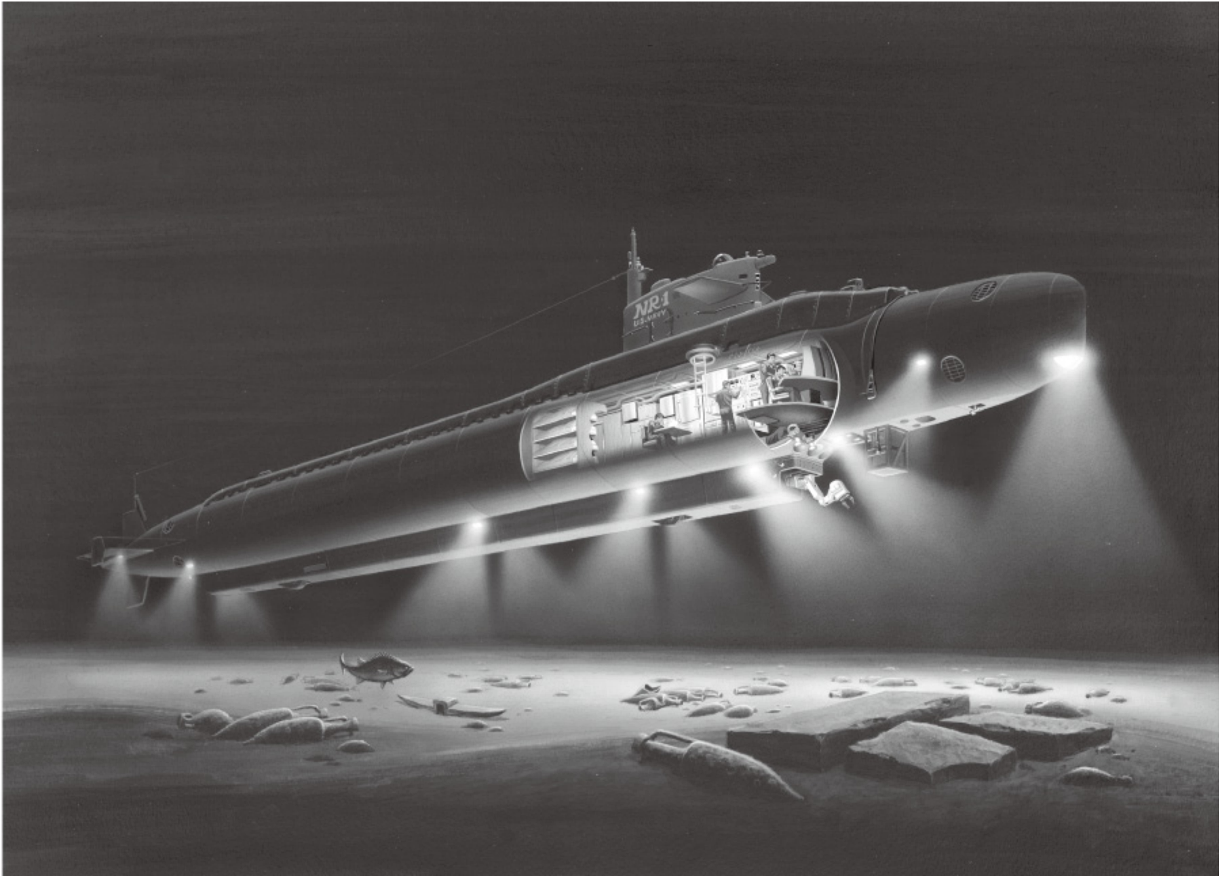


图2–1 驻留在“谢尔克4号”上方的美国海军“NR–1”号潜艇。“谢尔克4号”是公元前1世纪的失事船只留在地中海900米（3 000英尺）深的海底的残骸所在地
图片来源：美国国家地理学会。

一天半的时间过去了，探险活动接近尾声，我们准备回到海面上。通过水下电话尖锐的声音，我们用非常正式的语气提出了一个明确无误的请求：“请告知海面天气情况。”由于当时海面上狂风大作，浮出海面、回到“Carolyn Chouest”号可能有危险，于是我们再次来到“谢尔克4号”附近，又拍摄了一些照片。“NR–1”号潜艇配有底轮，我们把它开到离“谢尔克4号”几百米的位置，停在海底。就这样，在900米深的海底，我们一边坐在狭小的船舱里看战争片，一边等待海边的天气转好。这一等就是近两天的时间。

一接到天气转好的消息，我们立刻开始上浮。这种迫切的心情与当初下潜时毫无区别。

回到“Carolyn Chouest”号时，除了因为这次搜索活动取得成功而感到高兴以外，我的心情还是比较平静的。但是，母船上的那些同事却脸色发青。原来，这两天的恶劣天气让他们筋疲力尽，多少还有点儿晕船。尽管我们的距离不足1.6千米，但是海面和海底却是两个截然不同的世界。我是一名机器人工程师，而不是潜艇上的固定工作人员。我亲自去往海底的时间，远少于我通过遥控机器人、光纤电缆等媒介远程工作的时间，因此，接下来的事情自然能让我体会到亲身体验的情感作用与远程工作的认知作用到底有何不同。

我使用的主要设备是伍兹霍尔海洋研究所深潜实验室制造的遥控机器人“杰森”，它的大小与一辆大众汽车相仿。由于狂风肆虐，机器人“杰森”只能在“Carolyn Chouest”号的甲板上静静等待。天气转好后，“NR–1”号投入工作，我们也立刻行动起来。通过计算机控制系统，我们安排机器人“杰森”对事故现场展开了密集勘查。

我们坐在船上配有空调装置的控制室里，通过高带宽光纤电缆与潜入深海“谢尔克4号”地点的机器人“杰森”建立了联系。在黑暗中，我们既要观看机器人“杰森”传回的视频，监控传感器，还要手忙脚乱地启动各种计算机程序。7年来，我们准备的各种器材，包括各种传感器、精确导航系统、计算机联网控制等，都在这次下潜中得到了应用。在这些器材的协同作用下，机器人“杰森”在“谢尔克4号”上方仅一米的高度，以蜗牛爬行的速度精准地沿着预定航线，围绕着事故现场行进。声呐与数码照相机通过反射回来的声波与光线，收集了大量数据，然后传输到母船上的计算机硬盘。我建立的一个声学导航系统负责监控机器人“杰森”的位置，以每秒若干次的频率，将误差不到一厘米的位置标签添加到所有数据之中。

接着，船上的工程师和研究生们开始忙碌起来。他们要把大量图片拼凑成还原现场的照片，还要利用声呐数据制作高精度地形图。这幅地形图需要跟导航、计算机、传感器和数据处理联系起来，构成一

个统一的整体。我们之前做过类似工作，但是涉及的方面没有这么多，也从来没有针对一个如此重要的地点完成这种工作。

机器人的探测范围不仅远远超过“NR–1”号舷窗的视野范围，而且能以定量的方式给出探测结果。潜艇让我们亲临现场，而机器人则通过数字化处理将整片海底变成一个个字节。虽然我们坐在海面母船舒适的舱室里，但是通过研究这些数据，通过对虚拟现场进行详尽的探索，却可以发现大量亲临“现场”无法看到的东西。

这时候，我们已经知道海难现场长约20米，宽5米，有两堆古代的双耳瓶。很多瓶子散落在一个个小坑里，显然，这些小坑是双耳瓶下方微弱的水流冲刷形成的。大多数瓶子形状各异，但有三只同样的瓶子藏身于同一个小坑里，似乎是水流将它们聚拢在一起。仅凭双眼透过舷窗观察，海底似乎是平坦的，但实际上却有一个几厘米高的新月形隆起，勾勒出被泥土掩盖的失事船只的轮廓。

看到我们制作的数字地图之后，船上的一名考古学家惊呼道：“你们在刚刚过去的4个小时里，完成了我在发掘现场耗时7年才能完成的工作！”然而，携带水肺潜水装备潜水的考古学家所制作的地图，远没有我们绘制的“谢尔克4号”地形图那样详细、精确。事实上，尽管它呈现的只是浩瀚海洋中微不足道的一小块，却是迄今为止最精准的海底地形图。

这次“谢尔克4号”探测活动，为至少持续了8年的筹备工作画上了一个句号。通过这次活动，我们掌握了制作超高精度数字海底地形图的技术，这项技术必将引发一系列变化。首先，考古学的研究范围以及通过深海勘查研究人类历史的工作将随之发生变化；其次，我们将掌握亲临现场遥控“发掘”遗址的技术；再次，在考古研究中，我们还将学会新的方法，把考察研究的重点集中在深海区域，以及穿梭于不同文明之间的古代贸易路线，并通过这些研究，提出一些新问题。但是，并不是所有人都对这些新方法持欢迎态度。

有人可能会认为利用机器人开展探险活动很麻烦，而有人则为之感到欢欣鼓舞。为了摸清有哪些阻力，我前后花了20年时间从事这方面的研究，并且有了一些发现。不过，在介绍这些情况之前，我们先看看在深海探险工作刚起步的时候，人们是如何来到海底深处的，再看看机器人“杰森”是如何登场的。

今天，利用机器人进行海洋探索活动已经是一件司空见惯的事了。遇到航班失踪或者油井爆炸，机器人是我们勘查现场的第一个（通常也是唯一的）手段。但是，在机器人“杰森”漫长的研发过程中，人们各抒己见，展开了激烈的辩论。有的科研人员劝我们说：“那些机器人就是工程师的玩具，不可能派上用场。”有人则明确地说，作为一名真正的海洋学家，必须亲自去到海底。一些名声显赫的考古学家认为，从本质上看，利用遥控机器人探索海洋深处的古代沉船现场，哪怕是拍摄照片，都是不道德的行为。

这些考古学家已经通过浅海勘查活动形成了自己的一套工作方法。戴着水肺潜水装备，他们可以探索海面以下几百米的水域，因此他们的活动范围往往离海岸不远。甚至大多数潜艇的探索范围也仅限于海底水深几千米的水域，根本无法进行深海勘查。（很多潜水器和机器人仅适用于近岸浅海环境，我们甚至可以用从五金店购买的零件自行拼装。）

与之相比，深潜实验室是深海研究专家，探索范围常常可达水下数千米，触及海中央、海沟或者潜没带。这些特殊极端的环境对人与机械提出了特别的要求。

工程技术上的全海深是6 000米（19 500英尺），整个海底90%以上的面积都处于这个深度。下潜到这样的深度需要使用重型机械，因为想要让电子元件保持干燥，起保护作用的圆柱形金属外罩在体积、重量与成本上都是电路本身远不能及的。马里亚纳海沟是已知最深的海沟，深度接近11 000米（超过35 000英尺），探索这里需要更加专业

的技术。环绕地球的洋中脊（看上去就像棒球上的接缝）向上隆起，其顶部与海面之间的距离为2 000~4 000米。

机器人“杰森”的主要竞争对手不是“NR–1”号潜艇，而是伍兹霍尔海洋研究所在20世纪60年代研发而成，可以将科研人员的眼睛、身体和大脑直接送到深海的现代化深海潜水器——“阿尔文”号。在20多年的时间里，人们一直在利用这台白色的潜水器收集科研数据，因此它经常占据媒体的显要位置，让公众赞叹不已。在“阿尔文”号的发展历程中，机器人系统与载人系统携手发展，共同进步。它们之间的连接纽带就是罗勃·巴拉德。

罗勃·D·巴拉德并没有发明任何相关技术，他本人也不会以发明家自居。巴拉德是一名科研人员，没有接受过工程技术方面的训练，但他与工程技术人员的合作十分愉快。他在从事科研时也不局限于现有的工具设备，而是不断地思考科研工具可能的发展前景，这个特点在科研人员当中并不多见。在他使用的那些机器人系统中，有很多零部件都曾用作他途。但是，巴拉德在深海研究方面经验丰富，提出了利用遥控机器人探索深海环境的设想，并且组建了一个实验室和一个团队，来实现这个设想。他率领团队完成的几个重点项目，证明了这种技术的可行性。现在，回想起他对我的教导，我才意识到他的远程探索深海的设想对我的思想产生了多么深远的影响。

在越南战争期间，巴拉德是一名海军军官，他于1966年从加利福尼亚来到伍兹霍尔海洋研究所。巴拉德的父亲是一名工程师，从事过惯性制导系统方面的工作。巴拉德早年在美国北美人航空公司工作，从事早期潜水器研究，尽管他更感兴趣的是科学研究，而不是技术细节。在开始攻读海洋学硕士学位后不久，他就应征入伍，成了一名海军，并被任命为伍兹霍尔海洋研究所与美国海军研究办公室（ONR）的联络员。伍兹霍尔海洋研究所像一所大学，是私人资助的研究机构，但在当时，它的大多数资金都来自海军。

美国海军认为，深海研究与“冷战”时期的军力建设关系不大（战斗潜艇下潜的深度不足600米），因此对这方面的研究兴味索然。但是，1963年，一艘载有129名官兵的核潜艇在水下2 600米（8 400英尺）的位置失事，使得情况发生了彻底的改变。美国海军意识到，在这些造价昂贵、携带秘密并且具有危险性的装备陨落深海之后，美国海军根本没有办法搜救。因此，海军研究办公室开始资助伍兹霍尔海洋研究所研发潜水器（与潜艇的不同点在于，潜水器不能依靠自身动力在水下行进。潜水器通常由母船运送至目的地，潜水方案也以垂直下潜为主）。这是一个形状标准的球体，安装有各种各样的系统和电池，直径约为2.1米，由HY–100型特种钢（后期改用钛）制成。他们把这台潜水器命名为“阿尔文”号。

1966年，美国空军的一架B–52轰炸机坠毁，导致一枚氢弹遗失在西班牙附近海域。之后，“阿尔文”号成功地定位并从近900米深的海水中捞出了这枚氢弹，证明了它不凡的能力。不过，在“阿尔文”号浮出水面之前，氢弹再次掉入海中，而且落至更深的未知海域。美国海军动用了仍处于实验阶段的遥控水下机器人（CURV），完成搜索工作。这次搜索并不顺利，但它进一步说明我们的确需要深潜技术。同谢尔克暗礁的探索工作一样，载人系统与遥控系统再一次并肩作战。

在阿波罗登月时代，美国人希望把人送到太空。现在，他们希望将人类送到海底世界。在诸多海洋项目中，有一部分与“阿尔文”号有关。将人类送上月球的阿波罗计划得到了无数的资金支持，而同样是将人类送到从未涉足的领域，“阿尔文”号团队好不容易才筹集了几百万美元的资金。

作为美国海军研究办公室与伍兹霍尔海洋研究所之间的协调人，巴拉德殚精竭虑、努力工作。在越南战争之后的裁军行动中，巴拉德离开了美国海军，加入了伍兹霍尔“阿尔文”号研发团队，任务是为“阿尔文”号寻找新客户。用巴拉德自己的话说，他就是“科研成果推销

员”。巴拉德还选择到罗德岛大学继续深造，攻读海洋地质学博士学位。完成学位论文之后，他成为伍兹霍尔海洋研究所的科学研究员。

在20世纪60年代后期和整个20世纪70年代，“阿尔文”号在完成各种科学考察任务的同时，探索范围逐渐向外延伸，安全可靠性、机动性以及携带科研设备、采样器与操控工具的能力不断增强，下潜深度也不断增加，达到4 000米（13 124英尺）。

“阿尔文”号的工程技术历史的起始时间与“板块构造学说”的提出时间大致相仿。整个20世纪，“大陆漂移学说”不断发展。在20世纪60年代，有人据此提出了“板块构造学说”。海洋地质学这门年轻的科学站到了最前沿的位置，通过一些有说服力的深海测量与地震勘查数据，为地壳形成于海底的观点提供了证据。人们认为，在各大板块沿海沟分离时，老地壳掉落进地球内部，新地壳则沿着洋中脊形成。

但是，科学家几乎没有办法从自然环境中找到任何直接证据，来证明“海洋扩张学说”是正确的。传统的做法是利用船只悬挂或拖拽勘查设备，但是在研究洋中脊特点以及取样时无法满足精确性要求。

1973~1974年，美国与法国合作实施了“法摩斯”计划（Project FAMOUS），即法美联合大洋中部海下研究计划，由两台法国潜水器与“阿尔文”号一起完成一系列下潜任务，绘制洋中脊地形图和采集样品。这个项目为板块构造说提供了重要证据，从此深海探索的时代拉开了帷幕。

不仅如此，“法摩斯”计划第一次将“阿尔文”号带到远离海岸的深水区，证明了“阿尔文”号的确在科学研究活动中可堪大用。巴拉德回忆说：“在板块构造学说被人们真正接受的过程中，‘阿尔文’号发挥了不可或缺的作用。这的确是一件幸事！”不过，巴拉德认为，尽管“阿尔文”号经受住了“法摩斯”计划的检验，但是科学界仍然视其为毫无价值的“噱头”。

后来，“阿尔文”号与水声应答器的结合使用，为证明“阿尔文”号在科研上的可靠性提供了关键证据。水声应答器是伍兹霍尔海洋研究所根据与美国国防部高级研究计划署（ARPA）签订的合同开发的技术，由电池供电。在开始一系列的下潜活动之前，科研人员利用母船在研究区域搭建了一个水声应答器网络，为潜水器提供精确的直角坐标。在监听到脉冲信号之后，各个应答器都会回应一个不同频率的脉冲信号，但在回应之前有一个固定时长的时滞。通过“询问”这些应答器，“阿尔文”号或母船（或者其他任何设备）就可以根据收到的回应，确定自己在研究地点的位置。这些导航数据为“阿尔文”号给出量化探测结果奠定了基础，也有助于科研人员确定科研样品或观察结果在洋中脊体系中的精确位置。

巴拉德想出了很多办法，让“阿尔文”号的探测数据可用于科学假说的验证。他认为，在“阿尔文”号的帮助之下，科研人员可以在深海中借用野外地质考察的手段。巴拉德说：“地质考察的关键因素是科研人员训练有素的头脑、双眼以及手中的地质锤。这台小巧灵敏的白色潜水器的重要作用则是，帮助伍兹霍尔海洋研究所深潜实验室的海洋地质学家抵达海底，并完成实地观察。”

从“法摩斯”计划的补充数据看，洋中脊系统的海底热液并非一直在增加，因此，科研人员猜想可能有大量的海底热液从地球的某个位置排放到了海床上。海水有可能在覆盖压力的作用下进入地壳，受热后又从地壳下喷发出来。1977年，巴拉德和一组科研人员在加拉帕戈斯群岛完成的一个项目表明，群岛附近就存在这种热液喷口。

他们不仅发现了这些热液喷口，在其周围还发现了异乎寻常的生态系统。在这片一度被人们认为没有任何生物的区域，竟然存在着大量常见于深海环境的生命。但问题是，这次考察的目的是勘测海底的地质结构，随行人员中没有生物学者，因此，他们没有办法继续跟进这个惊人的发现。

于是，巴拉德快速安排了远程单边带无线电会议，与在伍兹霍尔海洋研究所总部的生物学者霍尔格·若纳什及弗雷德·格拉斯进行讨论。巴拉德回忆说：“我们问霍尔格与弗雷德如何处理这种情况。这相当于把生物学研究生的4年野外作业压缩成一次临时安排的无线电会议。”尽管通信方式非常简陋，但其传递的新的专业知识却对海底研究产生了不可忽视的影响。

除了“阿尔文”号之外，“法摩斯”计划与加拉帕戈斯群岛探测活动还动用了另外一种装置——一台名叫“安格斯”（ANGUS）的橇状照相装置。尽管人们对这种装置的关注度并不高，但是它为未来的机器人技术播下了种子。在“阿尔文”号下潜之前，人们将“安格斯”放到水中，并以长长的电缆固定在船的后面。

“安格斯”的大小与一辆小汽车差不多，内部装有一台胶卷高度为35毫米的彩色照相机。照相机安有闪光灯，每10秒左右闪烁一次。在行进时，水面上的人只能（利用声学测高计）接收到回馈的基础数据，了解该照相装置相对于海底的高度。然后，他们通过收放电缆，让“安格斯”保持在拍照的理想高度，即距海底约4米（13英尺）的位置。

洋中脊的地形可能崎岖不平，经常会出现让人猝不及防的陡坡。“安格斯”的金属框架非常结实，即使发生碰撞，其内部照相机受损的可能性也非常小。在几个小时之后，人们就会把“安格斯”收回来，处理照相机里的彩色胶卷。“安格斯”团队借用当时非常流行的天美时手表广告语“风吹浪打，永不停歇”作为座右铭，把“安格斯”比作自动计时的钟表。由于操控简单方便，因此他们把“安格斯”戏称为“拴在绳子上的小玩具”。

不过，用2.4千米长的电缆拖拽一个笨重的机器，其实是一项非常需要技巧的工作。电缆与人的拇指差不多粗，在浩瀚的海洋中看起来尤其纤细，但是几千米长的电缆放到一起，规模就非常大，相当于在

水中拖拽一间房屋。如果拖拽的速度过快，牵引力有可能导致机器上浮，使它与海底的距离过大，无法获取有价值的数据。只在拖拽速度非常慢的情况下，机器的重量才能抵消漂浮力。而且，由于牵引力极难控制，船与机器实现同步运动需要不短的时间，有时甚至需要好几个小时。

团队试图拖拽机器，沿着一系列笔直的等距航迹线，在洋中脊上方来回运动（被称作“修剪草坪”。几年后，我们常用“NR–1”号潜艇来完成这类工作）。但是，一旦出现偏差，修正就需要两个小时，因此沿笔直的航迹线运动并不是一件容易的事。在航迹线的尽头，机器完成船与机器的掉头有可能需要一整天的时间。

大多数大型船只没办法以足够慢的速度航行，即使直行也无法使速度放得很慢。但是，伍兹霍尔海洋研究所的科学考察船“克诺尔”号有一对独特的摆线推进器，可以在海洋里围绕一个点巡察，或者沿任何方向以极低的速度航行（后来，在安装了石油工业中常见的动力定位系统之后，“克诺尔”号同样可以实现这些功能）。

起初，电缆绞车与船体的控制（这些都是舰船的传统职能）都是通过“克诺尔”号的舰桥来完成的。“安格斯”团队在位于后甲板的控制室里，通过发出“升一级”或者“降一级”的指令来控制绞车。最终，这些微指令让他们非常厌烦，因此他们在控制室里加装了一个绞车遥控箱，后来又把遥控箱接入考察船的计算机控制系统。即使在机器人技术兴起之前，这些技术也要求对人类控制的性质与介入时间进行某些调整。

安格斯团队成员约翰·玻蒂尔斯回忆说：“我们发现，就控制水下照相机而言，一个小时大概就是一个人的极限了，否则就会出错。”操作人员必须全神贯注地盯着航线记录纸，了解机器相对于海底的高度，并通过绞车将机器保持在合适的高度上。在记录纸上，这个高度

仅为0.75厘米。操作人员还要与舰桥配合，给考察船下指令，让它缓慢前进。

这些早期项目为后期的技术发展奠定了基础，也为后来重大分歧的出现埋下了伏笔。遥控系统“安格斯”与载人系统“阿尔文”号进行了合作，在夜间“阿尔文”号充电时，由“安格斯”完成下潜任务。船上的声学导航系统与精确定位系统构成了一个统一协调的整体，既可以从海底发回定性数据，还可以提供定量数据。

与伍兹霍尔海洋研究所之间的无线电呼叫，突出说明了探险活动的不可预测性。如果这是一次真正的探险活动，而且事先不知道会有什么发现，那么出发前你所选择的人员有可能并不是最佳人选。而一次简单的无线电呼叫就可以帮助你与更多的专业人员建立联系。

最后要说明的是，非智能的“安格斯”也有局限性。直到下潜活动接近尾声，操作人员才能处理相机里的胶卷，才能知道胶卷是否记录下任何数据，以及那些数据是否有用。有时候，由于照相机在探测活动的前5分钟就已经损坏，或者曝光设置有问题，导致一整天的下潜活动都在做无用功。

在后期接受采访时，“安格斯”团队的所有成员都不认为他们曾经“亲临”海底。在加拉帕戈斯群岛完成第二次探测活动之后，令“安格斯”团队激动不已的并不是他们自己拍摄的照片，而是“阿尔文”号完成下潜任务之后带回来的视频。团队成员史蒂夫·盖格说：

> “我们激动得说不出话！虽然我们看过它们（深海生物）的照片。……但是，通过乘坐在‘阿尔文’号里面的人的双眼去观看……海底世界活生生地展现在我们的眼前。这太神奇了！在水波荡漾中，你能看到龙介虫，还能看到一只螃蟹在爬行……真的，在亲眼看到这段视频之后，你就能理解大家矢志不渝追求的到底是什么了。在那一刻，我明白了很多事情。”

25年过去了，仍然清楚地留在盖格记忆中的不是“阿尔文”号团队成员的各种描述，也不是海底探索留给他们的个人体验，而是那段视频，那段海底的影像。

“安格斯”的局限性与体验无关，而与时间有关，因为冲洗彩色胶卷、获取反馈信息需要耗费很长的时间。如果能够快速显示那些图片，从而及时调整下一步的行动方案，情况肯定会大不相同。

巴拉德注意到，“阿尔文”号上有一个与之类似的现象。在前两次下潜时，生物学者们与“阿尔文”号的操控人员都无法确定热液喷口的位置。尽管在这次探测活动中，巴拉德是安格斯团队的负责人，而不是“阿尔文”号的正式工作人员，但科研小组还是请他来到母船上，并请他乘坐“阿尔文”号下潜到海底，帮助寻找这些热液喷口。到达海底之后，巴拉德看到一条裂缝，接着又看到许多螃蟹。他们“跟随着越来越庞大的螃蟹群”，终于找到了热液喷口。

巴拉德异常激动，他转过身看着霍尔格·若纳什。霍尔格是伍兹霍尔海洋研究所的高级科研人员，也是最早看到这个惊人发现的生物学者。巴拉德在回忆当时的“阿尔文”号的内部情景时说：“就这样，我们到达了那里。我永远不会忘记当时的情景。霍尔格背对着舷窗，眼睛盯着监视器。我问他，‘霍尔格，你在干什么？’”

“我在看电视图像啊。”

“你为什么不看窗外呢？”

“电视（图像）更清晰啊。我能看得更清楚。”

虽然这位科研人员已经亲临海底，但是从照相机传输过来的彩色电视图像非常清晰，因此他宁愿观看电视图像。巴拉德回忆说：“我不由得眼前一黑。我们辛辛苦苦来到海底，到底是为了什么？”

1980年，巴拉德向斯坦福大学申请了公休假，准备把这次探索活动的结果出版成书，同时为申请伍兹霍尔海洋研究所的职位做准备。身处硅谷这所世界级的工程技术学校，又恰逢个人电脑革命刚刚兴起，他把自己的目光转向用新方法进行深海探索的研究上。

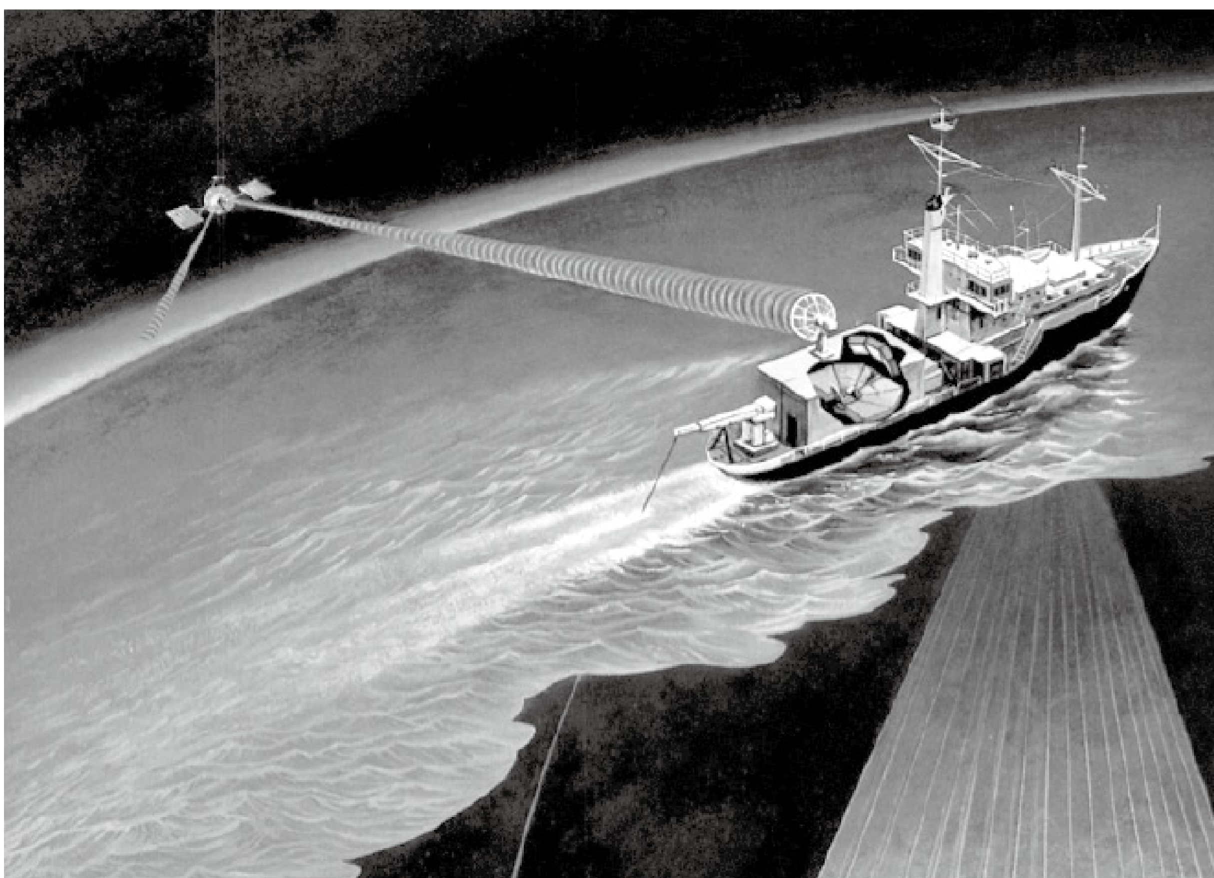
巴拉德这样写道："在利用'安格斯'辅助绘制洋中脊关键部分的地形图之后，我意识到人们终有可能开发出更复杂、更先进的遥控无人水下机器人，而且它在科研与探测领域发挥的作用将远远大于'阿尔文'号。"在巴拉德的设想中，载人潜水器的"前景堪忧"，将面临遥控水下机器人的挑战并被后者取代，而且后者的重要性将远超前者。

1981年，巴拉德的朋友塞缪尔·马修斯在《国家地理》杂志上发表了一篇题为"新海洋世界"的文章，对海洋探测活动中使用的各种工具进行了调查。文章用一个整版的图片展示了人类亲临深海所使用的各种工具，主要是潜艇和潜水器，包括"NR–1"号，深海潜水器的"里雅斯特"号，还包括威廉·毕比独创的深海球形潜水器和"阿尔文"号。此外，文章也谈及一些遥控系统，包括美国斯克里普斯海洋研究所的"深拖"系统（Deep Tow，参加过加拉帕戈斯群岛的科考活动）和法国的新型无缆水下机器人"埃波拉尔"。

巴拉德的一个新创意也出现在图片之中。这是一个"双体"系统，包括一个与"安格斯"相仿的橇状装置和一个可移动的水下机器人。巴拉德根据虚构小说中的科考人员及其船只的名称，把这个系统命名为"阿尔格–杰森"。文章用一张图片专门展示了他的这个构想，并将"阿尔格–杰森"描述成："不会载人，但在携带其他传感器的同时可以将人类的眼睛、耳朵送至深海的机器人"。文章还引用了一段没有标明出处的引言（可能引自巴拉德），称"它们比'阿尔文'号等T型船只更加高效……（可以帮助）科研人员把目光（以及思想）投向海洋深处，不仅没有任何危险，而且'下潜'时几乎不受时间的限制"。

马修斯利用一张精美的图片向读者展示了这套系统：一艘正在利用测深声呐扫描橇状装置“阿尔格”前方水域的船只，与岸上的卫星链路（取代了有杂声的单边带链路），利用声呐和摄像机扫描勘查区域的“阿尔格”，以及从“阿尔格”的“车库”中驶出的、利用两只仿生机械臂从洋中脊采集生物学样品的球形机器人“杰森”。

回到伍兹霍尔海洋研究所（并获得了所申请的职位）之后，巴拉德就开始利用自己推销科研成果的特长，去说服海军研究办公室接受他的设想。长期以来，海军研究办公室一直支持基础性海洋科学研究（这也是巴拉德当初在伍兹霍尔海洋研究所就职的原因），但该所还希望拥有探测（或者移走）失事船只内部物品的能力。核潜艇“长尾鲨”号与“天蝎”号分别于1963年和1968年沉没之后，海军希望了解是否有核泄漏的风险，还希望绘制失事地点的完整地图。然而，利用“阿尔文”号这样的潜水器是很难完成这个任务的。此外，尽管没有点明，但很显然，美国海军还希望探测其他国家的海军失事船只。



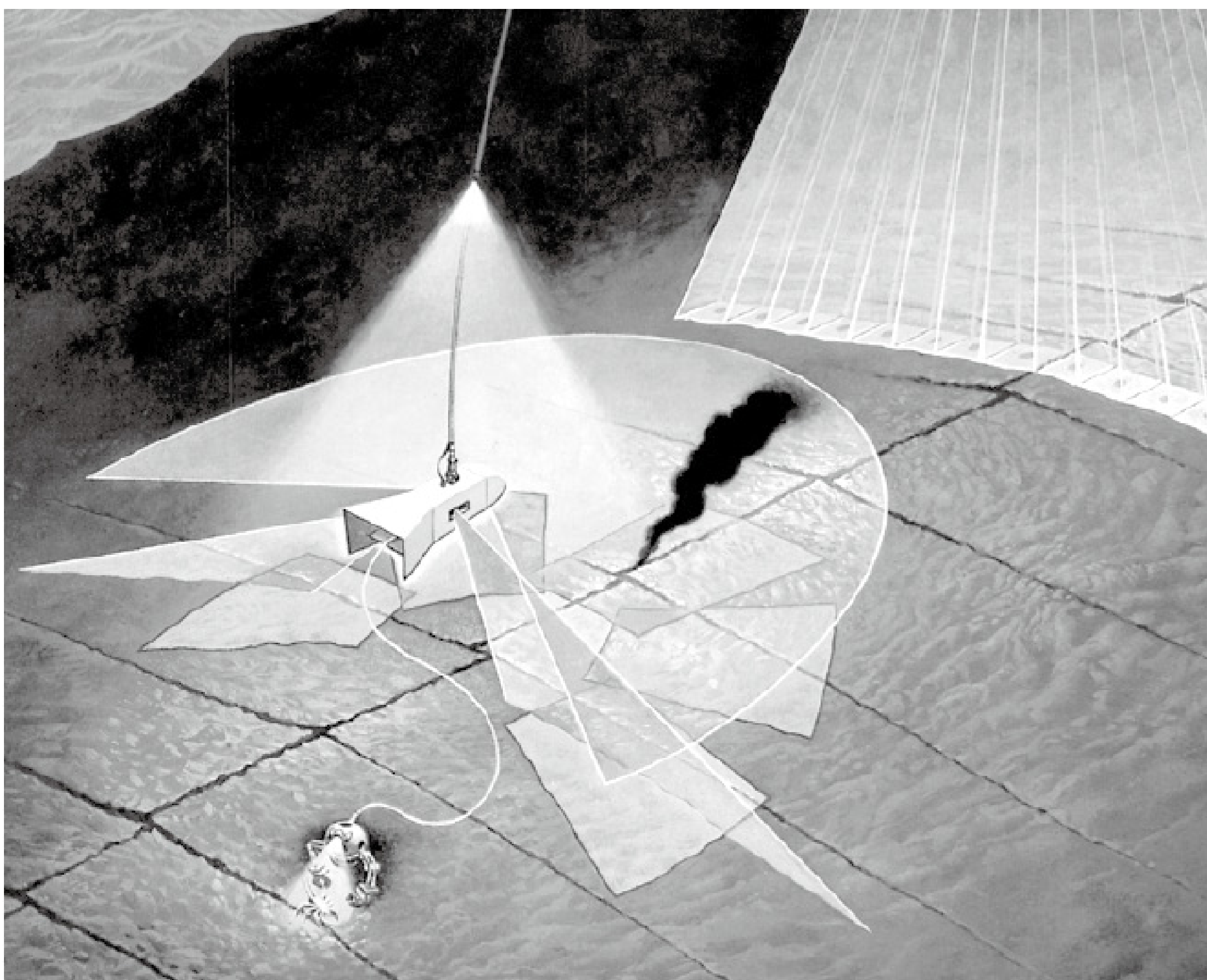


图2–2 罗勃·巴拉德利用遥控水下机器人“亲临”深海的早期设想（1981年）。连接在海洋考察船下方的橇状装置“阿尔格”负责扫描洋中脊，遥控水下机器人“杰森”则负责完成近距离探测工作。巴拉德希望利用这张图片赢得人们对他的“远程临场”设想的支持，完成工程技术人员的招募工作
图片来源：美国国家地理学会。

巴拉德很快就获得了成功，他承诺每年都会腾出一个月时间建造他的那套系统，并允许美国海军使用该系统；作为回报，海军研究办公室每年为他拨付60万美元的资金（这笔钱有很大一部分实际上是海军情报部门秘密支付的。之所以用海军研究办公室的名义支付，是因为美国海军研究办公室是科学研究领域里的一个知名机构）。1982年，巴拉德离开“阿尔文”号团队，并组建了自己的团队——深潜实验室。人类亲临海底世界与远程临场之间的不同，不仅表现在彼此独立

的技术系统方面，还表现在彼此独立的人员团队方面。而且，这两个团队之间难免出现不和谐的情况。

建造好宽敞的新实验室之后，巴拉德开始采买设备，招募人手。他的实验室搭档斯基普·马尔凯是伍兹霍尔海洋研究所的工程师，在“阿尔文”号团队里工作过很长时间，研发了关键的声学导航系统。马尔凯认为，“阿尔文”号已经发展成熟，因此他正在寻找新工作。巴拉德与马尔凯一起说服了安格斯团队里的一些资深研究人员加入他们的新团队，包括汤姆·克鲁克、厄尔·杨、史蒂夫·盖格，以及凯西·奥芬格尔（此后多年，奥芬格尔一直是巴拉德的得力助手）。此外，他们还从美国洛克希德公司找来了电气工程师斯图·哈里斯。哈里斯参加过卫星数字成像的大型项目，有这方面的管理经验。

团队准备采取分步进行的策略：先研发连接同轴电缆的“阿尔格”，然后将同轴电缆升级为光纤；至于水下机器人“杰森”，他们准备先开发可以深入失事船只内部进行探测工作、尺寸较小的版本，再开发与“阿尔格”配套的全尺寸版本。

巴拉德期待海军研究办公室为自己的实验室提供支持，但是美国海军研究办公室建议他与麻省理工学院合作，因为他们已经支持了麻省理工学院的一位研究人员从事遥控机器人技术的研究。这个人就是麻省理工学院的教授汤姆·谢里丹。谢里丹的求学历程非常特别，曾先后师从行为心理学家伯尔赫斯·弗雷德里克·斯金纳和一位机械工程师，而且一直对人机交互很感兴趣（斯金纳的“黑箱”行为理论对工程技术人员来说，具有经久不衰的吸引力）。1979年，三里岛发生核事故之后，谢里丹参与了相关调查活动，这次调查对早期的人因工程学领域产生了深远的影响。

谢里丹（后来成为我在麻省理工学院的论文指导老师之一）研究过真实系统中的人机交互，他发现完全由人类控制的全手动系统与由计算机全权处理所有事务的全自动化系统几乎不存在。事实上，大多

数系统在“自动化谱系”（spectrum of automation）上的位置都介于这两者之间，并且在实时条件下会变换位置。谢里丹把这种变化叫作“监督控制”。在这个过程中，人与机器一起工作，通过交换控制权调整“自动化程度”，以适应当时的情况。此外，谢里丹还发现，监督控制系统的效果对该系统所在的社会环境有较强的依赖性。

巴拉德去麻省理工学院拜访谢里丹时，遇到了一位名叫戴纳·约杰的年轻工程师。约杰出生于一个造船工人家庭，在麻省理工学院学习机械工程的同时，还对海洋充满了兴趣。谢里丹开阔的眼界让他心折不已：“在工作之余，他还对社会事务……对技术的社会效用产生了浓厚的兴趣。事实上，他认为要学好技术，这方面的知识必不可少。”当时，约杰已经获得了博士学位，正在一边找工作，一边在谢里丹的实验室里从事博士后研究工作。

这时候，罗勃·巴拉德来了。约杰回忆说，巴拉德“竭力兜售”他的“阿尔格–杰森”系统，还让他和谢里丹看《国家地理》杂志上的那张图片。约杰仍然清楚地记得当时的情景，他一边抬起头看着墙上的钟，一边回忆说：“我们是上午10点钟见面的。上午10点20分的时候，我就对自己说：这正是我希望从事的工作。”

于是，约杰加入了这个新实验室。当时，巴拉德给实验室起的名字是DSEL，意指“深潜工程实验室”，后来技术人员厄尔·杨把实验室叫作“diesel”，于是，巴拉德把实验室的名字改为“DSL”。这是因为在海军内部，“diesel”代表过去的那个非核潜艇的鼎盛时代。

为了给新实验室配置人手，巴拉德不仅需要聘请更多的拥有博士学位的研究人员，还需要招募其他人才。在伍兹霍尔海洋研究所北面的不远处，有一家名叫“海底生物”的小公司。这家公司的创始人萨姆·雷蒙德是麻省理工学院教授哈罗德·“博士”·艾格顿的学生。艾格顿借助自己发明的电子闪光灯拍摄下子弹穿过苹果的照片，并因此名声大

振。他还研发出可以用于海洋研究的照相机和闪光灯，由海底生物公司推向市场。

海底生物公司也曾尝试研发简单的带缆浅潜机器人，但没有商业价值。他们还把一台叫作“RPV”（遥控飞行器）的样机赠送给伍兹霍尔海洋研究所。

之后不久，马萨诸塞州昆西市发生了一起青少年失踪案。消防部门担心这个孩子可能掉进了一个蓄满水的废弃采石坑中，于是消防部门找到伍兹霍尔海洋研究所，请他们帮助寻找这名青少年。巴拉德认为，这是新机器人一展身手的良机，便安排汤姆·克鲁克与厄尔·杨前往昆西。这两名技术人员有多年的海上以及在深海等险恶环境工作的经验，但对于机器人技术却不太了解，因此他们从海底生物公司请来了年轻的机器人操控专家马丁·鲍恩。

马丁·鲍恩这个人可不简单，正是他提出并率先操控遥控机器人进行深海探测活动。5年前，他多次操控遥控机器人沿着“泰坦尼克”号的大楼梯往下走。鲍恩是一名技术人员，也懂得潜水、生物与摄影技术。他在海底生物公司的工作是组装生产工具，他对新型机器人有着浓厚的兴趣。

海底生物公司有一个室内游泳池大小的耐压试验筒。鲍恩用了好几个晚上的时间，待在试验筒里钻研精确操控机器人的技术。他将试验筒的窗户盖住，利用铝管临时搭建了一些脚手架，来模拟水下建筑。然后，鲍恩仅依靠机器人前视摄像机捕捉的图像，操控机器人完成进出水下建筑的操作。由于摄像机的视野十分狭窄，因此这是一种非常新奇的体验。

鲍恩认为，这种心理状态与他从事商业潜水活动的体验非常相似。他说：“（在商业潜水时）如果感觉身后一直有动静，我就必须意识到有什么东西想咬我的脚蹼。这种经验可以轻松地应用于水下机器

人发回的3D（三维）图像，比如我意识到：哦，有东西正在咬我的电缆。”这种带有电缆的水下行动平时并不多见，但是鲍恩还是培养出了“如何冒险前进以及观察、记录、撤回的意识”。在公司试验筒里度过的那些孤寂的夜晚，鲍恩“不停地玩着这种‘糖果屋游戏’，操控机器人从这些‘脚手架’里反复进出，然后安然返回。整个过程必须小心翼翼，以免被电缆缠绕住”。此外，作为一名摄影师，鲍恩对于如何表现水下世界的3D动态效果有一定的心得体会。

鲍恩、克鲁克和杨来到采石场，准备开始搜救工作。他们接手的是一项奇怪的任务。在这个120米深的采石坑底部，旧汽车与购物车占据了大部分面积。但是，令人不舒服的目标似乎随时会出现。鲍恩回忆说：“每次转动机器人携带的摄像机，我都在想我有可能看到一双球鞋、一条短裤和一张年轻的脸。”最终，他们并没有找到目标。几年之后，这名青少年被找到了，他仍然健健康康地生活在得克萨斯。失踪案原来只是一出恶作剧。

但是，伍兹霍尔团队却从中收获了宝贵的经验。他们不仅完成了搜救工作，还绘制了采石场的地形图。他们利用电缆控制机器人向前运动，估算机器人所在的位置，确保不留任何死角。这件事给巴拉德留下了深刻印象，他邀请鲍恩加入他的实验室。鲍恩本人也因为这项工作的前景而感到无比兴奋。在提到克鲁克和杨时，鲍恩说：“这两个人都是实干派，他们不会只坐在电脑屏幕前，而是亲自前往海洋深处。他们是项目取得进展的有力保证。”令人意想不到的是，后来他们确实亲临海洋深处了，但在出海的过程中却一直坐在电脑屏幕前。

鲍恩加入的时候，巴拉德的新实验室一派红火，“阿尔格”的研发工作已经开展了一段时间。同“安格斯”一样，“阿尔格”也是一个用电缆拖拽的橇状装置，巴拉德把它形容为“一辆客货两用车大小、装有一个轻快的尾鳍、用白色钢管制成的不可思议的拖拽装置”。与之前的类似装备不同的是，“阿尔格”直接通过线缆传输遥测数据和实时视频，

与此同时，它也可以利用胶片摄像机拍摄静止图像。由于强度适合海洋学研究的光纤电缆还需要几年的时间才能研制出来，因此“阿尔格”使用的是传统的同轴电缆，与我们插到有线电视机顶盒后面的电缆非常相似。用一根导线完成多路传输，传送电力、数据和视频等，这是一件非常复杂的工作。如果在调谐或者屏蔽方面出现问题，信号就会彼此干扰，导致数据出现噪声、视频出现雪花点。

戴纳·约杰是团队中唯一拥有博士学位的工程师，他的任务是根据长电缆的力度变化，改善海面船只自动“动态定位”的效果。他还启动了一个计划，研究如何利用自动化技术改进机器人下潜到海底的能力。如果海面船只可以利用位置反馈数据保持静止，那么它为什么不能确定机器人的动态位置呢？需要什么新技术才能实现这个目的呢？这样的监督控制系统如何为水下机器人操控者和科研人员提供帮助呢？

1984年夏天，“阿尔格”准备就绪，并且已经在1 740米深的“长尾鲨”号潜艇失事水域进行了一次彻底的实地勘查。从橇状装置传回的实时视频非常珍贵，帮助研究人员确定了失事潜艇的位置，还起到了导航作用。

但是，视频所发挥的最重要作用还是为团队带来了巴拉德所期盼的存在感。巴拉德在回忆录中写道：“毫无疑问，控制室里的所有人都觉得自己与‘阿尔格’一起潜入了大海。我们待在安全的海面上，置身空调的舒适观察室里，同时让‘阿尔格’把我们勤于观察的双眼、善于思考的大脑带入海底……那些电脑显示屏看上去并不像监视器，而更像一个个舷窗。”与之相比，声呐图像与其他传感器数据只不过让船员的体验更加逼真。

“长尾鲨”号潜艇搜救工作让巴拉德与DSL实验室赢得了美国海军研究办公室的信任。第二年夏天，美国海军研究办公室为“阿尔格”勘测“天蝎”号潜艇失事地点留出了三周时间。同时，双方还达成了一项

协议：如果这次任务提前完成，该团队可以利用剩余时间完成其他海洋探测项目。最终，“天蝎”号勘查工作同样取得了成功。

因此，“克诺尔”号与“阿尔格”一起，再次与一支法国科考队进行合作，启动了协议里规定的“其他海洋探测项目”。对于巴拉德而言，这意味着他可以重拾寻找“泰坦尼克”号的梦想。

1985年8月31日，“阿尔格”在北大西洋海底上方9米处的艰难搜索工作已经持续了一周时间。一天，控制室里的人终于在模糊的黑白视频影像里看到了失事船只的金属残骸，接着他们又看到了一个清晰可辨的锅炉。就这样，沉没在海底的“泰坦尼克”号终于被找到了。

在随后的几天里，兴奋不已的“阿尔格”团队用照片、视频和测量数据对“泰坦尼克”号的失事地点进行了详尽的记录。“安格斯”也参加了行动，一共拍摄了数以千计的胶卷高度为35毫米的彩色静止照片。最终发表在《国家地理》杂志上的那幅拼接图片，是巴拉德的老师、地质学者艾尔·尤察匹利用剪刀和胶水，一张一张亲手拼凑起来的。

“泰坦尼克”号失事地点的发现，后来被视为20世纪最伟大的海底发现，这让巴拉德、水下机器人以及伍兹霍尔海洋研究所再一次名声大噪。此外，它还引发了公众对深海的想象。自古以来，深海就是人类不可企及的神秘世界，而现在，遥控水下机器人帮助人们揭开了它的神秘面纱。

在“克诺尔”号返航后，数以千计的家庭和祝福者赶到伍兹霍尔小镇，他们涌上码头，欢迎这些发现“泰坦尼克”号的英雄凯旋。巴拉德等人下船后，伍兹霍尔海洋研究所在码头附近的礼堂召开了新闻发布会，来自世界各地的记者挤满了整个礼堂。

这是一个伟大的成就，足以改变巴拉德今后的人生道路和职业生涯。巴拉德利用召开新闻发布会的契机，向世人介绍了他的“远程临

场”设想。他指出，“阿尔格”以及伍兹霍尔正在研发的类似设备，标志着水下探测领域正在发生一场“颠覆性的革命”。他说：“这是远程临场时代的开始。从此以后，我们的精神、眼睛和思想可以离开我们的身体，前往海洋深处，到达海底……我们已经进入了一个水下探测的全新阶段。”

“泰坦尼克”号的发现是通过远程临场的方式完成的，在这个过程中，人们并没有亲临海底。出于这个原因，伍兹霍尔海洋研究所的内部关系在很长一段时间里都有点儿紧张。

第二年，伍兹霍尔海洋研究所再次对“泰坦尼克”号失事地点进行船体内部勘查时，这种紧张关系达到了极致。美国海军给DSL实验室送来了一个名叫“AMUVS”的小型水下机器人。它是一个圆形机器人，可以由潜艇的鱼雷发射管发射出去，用来执行一些细碎任务。

人们把AMUVS比喻成“水面下左顾右盼的眼睛”。的确，这个说法表现的正是遥控水下机器人最基本的功用——按照远程遥控指挥的人类的意愿转动水下摄像机进行拍摄。AMUVS安装在深海潜水器“的里亚斯特”号的外壳上，但由于安装的问题，它的效果并不十分理想。不过，AMUVS催生了大量商业产品，比如RCV–225，后者是一种早期的遥控水下机器人。

AMUVS的设计中规中矩，除了有一个突出的亮点——它的耐压外壳以钛为材料，由机器整体加工而成，造型奇特，外观非常漂亮。它的大小与台式电脑差不多，里面有各种电子元器件，上面还有一个石英材质的半球状物体，里面装有摄像头。后来，人们以这个耐压外壳为核心部件，研发出一种新型的水下机器人。

DSL实验室的工程师们把AMUVS的内部元件取出，代之以一台在模型飞机伺服系统控制下可以上下左右调整拍摄角度的摄像机，再在外壳外面包裹一层新型水下发泡材料，还安装了新型电动推进器。他

们把改造后的机器人称作“小杰森”（巴拉德已经制订了研发全尺寸“杰森”的计划）。他们希望“小杰森”可以证明，水下机器人能够进入失事船只内部并获得一些有价值的发现。

巴拉德的“遥控水下机器人将取代载人潜水器”的观点在“阿尔文”号团队内部也引起了关注。一方面，巴拉德直接采用推销员的做法，抓住一切机会宣扬发展进步观，介绍海军赞助商与公众都深信不疑的发展情况。另一方面，巴拉德玩起了官僚政治的那一套，让实验室内部的研究人员与外部的“学术达人”展开竞争。

在接受《科德角时报》（伍兹霍尔本地的一家报纸）的采访时，巴拉德预言：“载人潜水器终将衰亡。”后来，巴拉德说他为自己做出的这个判断感到“后悔”，但他仍然认为，在“阿尔格”发现“泰坦尼克”号残骸之后，‘阿尔文’号团队受追捧的程度有所减弱”。

不久之后，巴拉德就发现自己的预言错了。

为了寻找随着“天蝎”号潜艇坠入深海的核武器，美国海军提供了一笔资金，请巴拉德的实验室把“小杰森”送到核潜艇残骸内。1986年，巴拉德打着进一步调查“泰坦尼克”号残骸的旗号，安排“小杰森”开始执行这项秘密计划。“阿尔文”号负责将放在船舱床下的扁平行李箱大小的“小杰森”送至失事现场。“小杰森”被置于“阿尔文”号的前端机库中，到达目的地之后由机库驶出，进入核潜艇残骸内部。机器人身上连接了光纤电缆，一名操控者坐在“阿尔文”号舱内，通过这根电缆遥控机器人，同时操控摄像机拍摄视频。在利用遥控水下机器人对核潜艇残骸进行了初步勘查之后，“阿尔文”号团队开始受邀参与正式的勘查活动。

一度是业界新星的“阿尔文”号跃升至权威地位。1973年，一个正式的“阿尔文”号评审委员会制定了程序，对同行评审请求、潜艇上时间分配等内容进行了规范。1984年，货真价实的海洋科考船“阿特兰蒂

斯II”号取代临时的支撑平台“露露”号，成为“阿尔文”号的母船。截至1986年，“阿尔文”号有记录的下潜活动就超过了1 700次，证明它确实是值得信赖的科研工具。仅在1986年，“阿尔文”号就为多个科研领域的用户完成了100多次下潜任务。在将耐压球状外壳的制作材料改成钛之后，“阿尔文”号的下潜深度达到了4 000米（13 000英尺）。

同样是在1986年，技术人员对“阿尔文”号的电子设备进行了全面翻修，将用于推进、控制潜水器的液压发动机更换成直流无刷发动机。从此以后，操控人员在控制单个发动机时无须再拨动开关，而是用上了真正的操纵杆。操控者威尔·塞拉斯回忆说：“经过这次改装，‘阿尔文’号彻底改头换面。”随后，在“泰坦尼克”号失事地点，他第一次使用了改装之后的“阿尔文”号。

相比之下，“小杰森”还只是一个放不开手脚的新贵。它刚刚问世，几乎没经过任何测试，也没有在深水区工作过。被安装到“阿尔文”号上仅仅三天，“小杰森”就随着母船从伍兹霍尔港口出发了。马丁·鲍恩回忆说：“它从3米深的水域（测试阶段），一下子就进入了4 000米深的水域。”

在公开对载人潜水器出言不逊之后，巴拉德感觉自己在“阿尔文”团队成员的眼中就如同一只落荒而逃的狗。显然，“阿尔文”号团队中的某些人也有同感。在前往下潜地点的路上，“阿特兰蒂斯II”号的厨师为巴拉德做了一个特殊的蛋糕，上面写着巴拉德说过的话：“载人潜水器终将衰亡。”就这样，他们以一种非常轻松却充满敌意的方式，让巴拉德“收”回自己说过的话。

尽管“阿尔文”号团队以这种方式羞辱了巴拉德，但在一系列的下潜任务中，载人系统的支持者与无人系统的拥趸之间矛盾仍然很深，紧张的关系不仅没有得到缓解，反而越发严重。

巴拉德认为，“阿尔文”号团队对遥控水下机器人持怀疑态度。在几次下潜任务中，他觉得“阿尔文”号的操控者拉尔夫·霍里斯常有冒险之举，目的是证明载人潜水器探测失事现场、采集数据的能力并不弱于“小杰森”。不过巴拉德发现，“阿尔文”号的工作程序非常陈旧过时。比如，每天下午3点左右，载人潜水器必须离开海底，团队成员才赶得及回母船上吃晚饭。这样的安排是出于安全考虑，也是为了让团队成员得以休整和进行夜间设备维护。但是，巴拉德认为这是“极度僵化的官僚主义，毫无疑问还掺杂了对同行的妒忌之心”。在他看来，“‘小杰森’正在证明无人水下机器人比载人潜水器的功能更加优越”。

“阿尔文”号的工作人员在接受各类采访时绝口不谈这种比较，他们对团队的权威地位充满信心。在他们眼中，遥控水下机器人就是一个令人讨厌的劣质玩具。

他们的感觉是正确的。鲍恩在回忆他们的第一次潜水活动时说：“‘阿尔文’号的操控者准备启动‘小杰森’。可是，刚一接通线路，这个家伙就出问题了，后面升起一小股白烟。”原来是接线盒发生了短路，推进器无法工作。有一次，在“阿尔文”号回到水面的过程中，“小杰森”从“阿尔文”号的机库中掉了出来，吊在“阿尔文”号的下方来回摆动，真成了“拴在绳子上的小玩具”。他们不得不派出潜水员割断电缆，才找回了“小杰森”。在全部12次下潜活动中，“小杰森”成功地获得有价值的视频次数。

“阿尔文”号第一次下潜至4 200米的深度，所用时间大约是2.5个小时。巴拉德与鲍恩盘腿坐在那儿，膝盖上放着好多盘录像带，准备用来记录“小杰森”的重要发现。潜水器将下潜到失事现场附近，然后慢慢靠近，直到巨大的目标出现在声呐图像中。然后，在进入可视范围之后，“你就可以透过舷窗，看到一幢8层楼高的大家伙，而你所在的

位置与停车收费器差不多。因此，这个庞然大物仿佛正在慢慢地爬到你的头上”。

巴拉德的梦想是操控“小杰森”沿着“泰坦尼克”号的大楼梯走下去，同时用视频记录下整个探测过程。这就要求“阿尔文”号与机器人“小杰森”之间有默契的配合。“阿尔文”号必须停在“泰坦尼克”号的甲板上，还必须略微负重才能构成一个稳固的平台。甲板能承受得住吗？会不会崩塌并埋没“阿尔文”号与“小杰森”呢？操控者拉尔夫·霍里斯试了一次，发现甲板比较结实。

第三次下潜时，做过机械工程师和海军飞行员的操控者达德利·福斯特（后来，他成为在“阿尔文”号团队工作时间最长的人）让潜水器停在甲板上，它携带的重量大约为94克。之后，福斯特必须让它慢慢前进，尽可能靠近大楼梯上的一个孔，这是因为“小杰森”电缆的长度只有大概45米。“阿尔文”号的舷窗向下倾斜45度角，因此操控者在潜水器正前方的可视范围并不大。福斯特回忆说，在他足够靠近之后，“我的视野里只剩下前窗外面的那个大洞了”。

鲍恩的腿上放着一个控制盒。控制盒右侧的手指操纵杆可以让潜水器水平运动，左侧的拨动开关可以调整潜水器的俯仰角度，中间是一个索尼便携式电视“随身看”样机，用来播放“小杰森”的前位摄像机拍摄的黑白视频影像。

巴拉德焦躁不安地坐在“阿尔文”号的球体结构中，鲍恩则全神贯注地盯着他那台索尼“随身看”。鲍恩小心翼翼地操控“小杰森”从机库中驶出，然后慢慢地摸索前进。如果速度过快或者碰到船体，就有可能扬起尘土，导致他迷失方向。

所有人都知道，“小杰森”是一台先进的机器人，但稍有疏忽，它就会变成一个造价昂贵却有致命危险的铁锚，把“阿尔文”号及其成员困在海底。人们为紧急关头切断电缆配备了一把电缆钳，但是所有人

都不确定这个办法是否保险。鲍恩回忆说："如果我操控水下机器人带着这种结实的电缆的水下机器人进入船体内部，一旦它熄火或者发生其他灾难性故障，我们就会被困在那里。"甚至有可能永远留在那里。

有一次，这根直径约1.25厘米的明黄色电缆真的钩到了一根断裂的栏杆上。但是，鲍恩并不知情。在他扳动开关准备收回电缆时，"小杰森"没有回到潜水器上，而是被电缆拖向那根栏杆。潜水器与有缆遥控机器人形成了一个耦合动力系统，而且是一个由载人系统与遥控系统构成的耦合系统。现在，载人系统与无人系统之间的矛盾通过这根绷紧的电缆凸显出来。鲍恩意识到自己犯了一个错误，于是他松开绞车，然后轻轻地拉动电缆，让遥控机器人朝侧面移动了一小段距离，趁势摆脱了那根栏杆。

尽管出了一些小问题，但"小杰森"还是成功地垂直下降并进入大楼梯上的那个孔。在这个过程中，鲍恩一直全神贯注。他说："我通过水下机器人的摄像头，一边看着楼梯下方的柱子，一边努力地让机器人做着后退、前进的动作……就像玩游戏一样。"与此同时，"阿尔文"号上的操控人员则负责监控水下机器人的各个系统与传感器。

鲍恩不仅要密切关注遥控机器人前方的情况，还要满足载人系统的各种要求。他回忆道："负责监控的操控人员不断发出各种指令，要么是'让那个家伙回到这儿来！'，要么是'我们完成任务了，现在离开那儿。把绞车打开'。巴拉德也会不停地发出指令，诸如'不错，一切都算顺利。去那儿，去那儿。检查那个地方'。我需要在这些指令中做出取舍。"

不过，这还是让他激动不已："我就这样操控着这个小家伙。我的大脑已经离开了潜水器，进入了那台摄像机。"当时，他操控的机器人正在水面下近4.8千米处的巨大沉船内部。20年后，操控无人机飞抵阿富汗上空的美国空军人员，还有操控遥控机器人勘探火星的地质学家，也有类似的感觉。

有一次，鲍恩让“小杰森”转过身，面朝“阿尔文”号。他回忆道：“我们都坐在‘阿尔文’号舱内。突然，明亮的光柱在我们眼前闪过，就像在漆黑的夏夜，一辆汽车开着明亮的前车灯，从窗外的黑暗中疾驰而过一样。所有人大吃一惊，恨不得拔腿就跑：啊！这是什么怪物？原来，我们看到的就是我们自己。当时，我们正在试图搞明白我们到底是谁。”在另一次下潜过程中，操控人员威尔·塞拉斯发现，把“小杰森”当作一组远程控制的照明灯使用的话，从舷窗看出去的有效视距会大大增加，这个发现令他惊叹不已。

沿着楼梯的下潜活动才进行了20多分钟，福斯特就决定收工回去吃晚饭了。他下令收回遥控机器人，然后让“阿尔文”号回到水面。不过，他们已经有了不小的收获，用视频记录了整个勘探项目中最关键的20分钟。

《国家地理》杂志为“阿尔文–小杰森”组合做了一期特刊。此外，画家以艺术手法为“阿尔文–小杰森”创作的“画像”也登上了《时代周刊》的封面。奇怪的是，人们从《时代周刊》的封面上只能看到“阿尔文”号。许多人都以为发现“泰坦尼克”号残骸的是“阿尔文”号，可能就是出于这个原因吧。与之不同的是，在《国家地理》杂志的封面上，我们只能看到“小杰森”正停在“泰坦尼克”号的一扇窗户外窥探船体内部的情景。

THE MAKING OF AMERICA: NORTHERN PLAINS

VOL. 170, NO. 6  DECEMBER 1986

NATIONAL
GEOGRAPHIC



A Long Last Look at
TITANIC 698

WESTMINSTER, THE PALACE THAT BECAME PARLIAMENT 728
HALLEY'S COMET 758 GHOSTS ON THE LITTLE BIGHORN 787
TSETSE—FLY OF THE DEADLY SLEEP 814

OFFICIAL JOURNAL OF THE NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY WASHINGTON, D.C.

图2–3 1986年，“泰坦尼克”号探测活动让人类亲临现场与远程临场之间的矛盾在媒体上暴露无遗。图中是《国家地理》的封面，描述的是小型机器人“小杰森”正在透过一扇窗户窥探“泰坦

尼克”号的内部。与之不同的是，《时代周刊》的封面上只有“阿尔文”号潜水器，尽管“小杰森”也参与了此次探测活动
图片来源：美国国家地理学会。

“泰坦尼克”号船体内部的探测工作使大众对深海与机器人技术的潜力浮想联翩，这与一年前发现失事地点时的情况非常相似。几年后，詹姆斯·卡梅隆用戏剧化的手段再现了“泰坦尼克”号船体勘查的情景，并用在电影《泰坦尼克号》（*Titanic*）的开头。在那部电影里，机器人不仅打开了通向沉船内部的窗户，还把吸引它来到海底世界的那个故事展现在世人眼前。

在“泰坦尼克”号周围和内部探索的“小杰森”具有某种象征意义，它标志着被比喻成“左顾右盼的眼睛”的早期深海机器人技术已经发展到了巅峰阶段。这些“眼睛”大有作为，甚至可以帮助人们摆脱危险。例如，在“阿尔文”号前往十分狭小、足以威胁整个潜水器安全的地方执行探险任务时，“小杰森”可以代替人们承担这些风险。不过，这些与“阿尔文”号早期承担的各种任务并无本质区别。在声学导航与科学新方法使之成为名声显赫的、可以生成正式数据集的科研工具之前，“阿尔文”号执行的不过是“去看一看”的任务。

载人潜水器与遥控机器人的组合并没有让“阿尔文”号团队从此变得炙手可热，在完成“泰坦尼克”号探险活动之后，这个组合再也没有派上用场。

要借助“阿尔格–杰森”组合实现海底远程临场这个目标，巴拉德和他的实验室还要继续努力。在随后的几年，全尺寸版“杰森”逐渐成形，并通过了一系列浅水测试。“阿尔格”由橇状照相机装置变成了全尺寸的机库，可以容纳一辆大众汽车大小的“杰森”机器人。新的“阿尔格”被命名为“雨果”，意指“大号的阿尔格”。“雨果”采用由长途通信系统改装的光纤电缆，可以每秒几千兆字节的速度传输数据，而且数据的质量不受影响。

不过，遥控机器人对深海研究的作用并不仅限于充当“左顾右盼的眼睛”，它们变身为移动数字感测头，以极快的速度从海底世界收集大量数据并传送至水面。这些机器人既不是全自动的，也不是全手动的（没有“阿尔文”号的那种拨动式开关），而是通过戴纳·约杰等人为“杰森”开发的监控系统来操控。几乎所有的“智能机器”都要待在海面上。“杰森”其实就相当于一个平台，负责为“平台”上的所有照相机和传感器提供电力、遥测技术和动力。

1988年9月，“杰森”在美国华盛顿普吉特海湾的胡德运河执行了它的第一次出海任务，为美国海军完成浅海勘查工作。1989年春天，“杰森”在地中海完成了一个地质考察项目（下一个就是“谢尔克4号”的探险工作），这是“杰森”在深海区完成的第一项任务。

巴拉德满怀激动地看着10年的艰辛付出终于有了成果，但是这种心情并没有持续太长时间。下水之后，“雨果–杰森”组合表现出体积大、重量轻的缺点。在母船上下起伏时，前一刻电缆松弛下来，下一刻又突然绷紧。在巴拉德为之骄傲的“雨果–杰森”系统第三次下潜时，连接“雨果”的电缆末端突然断裂，导致整个系统悄无声息地沉到了800米（2 600英尺）深的海底。或许，人们会因为这次事故而萌生遥控机器人不如载人潜水器安全的想法。

通过一系列勇敢的措施，DSL实验室终于把“雨果”与“杰森”从海底打捞上来。“雨果”被永远舍弃了，取而代之的是一个小型照相机装置，名为“美狄亚”（神话人物杰森残忍的妻子）。时至今日，这个照相机装置仍在使用。“美狄亚”不仅是“杰森”的库房，而且可以起到平衡水面母船通过长电缆传过来的拖拽力。连接“杰森”与“美狄亚”的是一根悬浮电缆，只有约45米长，在这个半径范围内可以自由、精准地完成各种动作，而且海面母船的上下起伏不会对它产生任何影响。“美狄亚”还装有摄像头和导航系统，在“杰森”工作时可以在其上方对其进行监控。

令人意想不到的是，这些临时性的改进给“阿尔格–杰森”系统赋予了一些不同于载人系统的特点。在被认证为安全的载人工具之前，“阿尔文”号还必须接受美国海军的多项严格测试，包括船体建造材料的来源追踪、工程变更的审批（只能在一年两次的大修时才能启动审批程序）。截至目前，“阿尔文”号这艘关乎人类生命安全的系统上没有安装任何软件。它还是一个传统意义上的硬件系统，既简单又安全。

遥控水下机器人的情况则与之不同。所有遥控水下机器人无须进行任何认证，可以在使用现场方便地改装，而且费用低廉。此外，因为软件也不需要认证，所以也可以在操作过程中不断修改。在最开始的几年，“杰森”接受过无数次的硬件改装，软件的更新也从未停止。早期的“杰森”机器人经常出现软件冲突的问题。如果“杰森”是载人系统，有的软件冲突甚至会威胁到人的生命安全。

1988年夏天，即“泰坦尼克”号探险活动结束两年后，我来到伍兹霍尔海洋研究所洽谈工作事宜。研究所的大门外有一个不大的牌子，上面有“深潜实验室”几个字。我沿着陈旧的绿色铝质楼梯走了进去。负责接待我的斯基普·马凯特曾是“阿尔文”号团队的一名元老级工程师，也是深潜实验室的联合创始人之一。在参观实验室时，我不仅看到造型独特的机器人、耐压外罩，还看到了一些从未见过的东西。马凯特指着实验室长椅上的一堆电子元件告诉我：“这个家伙曾经进入了‘泰坦尼克’号内部。”他说的是“小杰森”，不过现在它已经面目全非了。

但是，在这些机器人身上和它们的周围，我也看到了一些非常熟悉的东西，包括各种电子元件、微处理器和软件使用手册等。一瞬间，我就被眼前的这些东西深深地吸引住了。我所掌握的技能、我的激情，不正适合投入到这个不同寻常的事业中来吗？我不愿意困于斗室撰写工作报告，我迫切地希望周游世界，同时利用自己的工程技术

制造可以在极端环境下工作的电子元件。于是，我加入了深潜实验室，成为一名初级工程师。

在“杰森”的基础系统通过验证之后，戴纳·约杰终于可以转移注意力，去开发辅助远程探险的更先进的监控技术了。他邀请我帮他研发电子元件，为实现自动化植入必要的系统。具体地讲，我需要完成两项工作：其一是开发一套利用超声波脉冲信号为“杰森”导航的精确导航系统；其二是为一个叫作ABE的新型自主水下机器人研发计算模块（我同时还要参与完成“杰森”系统其他方面的工作）。在随后的几年里，我们用“杰森”机器人完成了几个项目。每次，我们都会编写新的代码，利用控制系统完成新的任务，与此同时，我们对远程探险也会产生新的认识。

在深海中作业的机器人到底有什么特点呢？首先，我们必须对“机器人”这个词的使用加以限定。我们经常用这个词来代表“杰森”，但是“杰森”的自主性与机器人不可同日而语。事实上，“杰森”在技术自主性方面就像一张“白纸”。它几乎没有计算能力，能够胜任的只是控制灯与工具的开关、打开推进器，以及为数不多的其他整理工作。视频信号由光纤直接传送至水面处理，各种工具收集的数据大多是通过“杰森”身上的计算机多路传送。即使“杰森”自动完成某些动作（诸如保持在某个固定的深度上），其反馈环路的关闭也是通过母船上的计算机完成的。

从外形上看，“杰森”的造型并不美观，与人类也没有多少相似之处。它的上半部分是一个结实的块状结构，由特种发泡材料制成，以便产生浮力。它的下半部分由金属条、耐压外壳和各种电线构成。各部件由管道胶带和喉箍固定在一起。

尽管这个机器人有一个人类的名字，但是它并不具备多少人类的特点。不过，如果仔细端详它的正面，就会发现这个密集安装了大量照相机的部位（完成所有工作的机械手也在这个部位）的确与人脸有

几分相似。更准确的比喻是把“杰森”比作望远镜，因为人们借助它可以看清远处的东西。事实上，在任务进展顺利的时候，人们是看不到它的。它让水面上的人能够看清海底的情景，同时不让他们注意到传送信号的媒介，这正是营造临场感的关键。

“杰森”还让机器人与海面舰艇（最古老的载人移动工具之一）建立了一种更亲密的关系。在“阿尔文”号下潜之后，母船上的工作人员可以随心所欲地驾船离开，去收集其他的研究资料。而有了“杰森”之后，母船与机器人始终通过电缆连接在一起，在协同作业时必须力求精确。我们在控制室与母船的定位系统之间建立了电脑连接，这样一来，在位于母船后甲板的“杰森”控制室里的工作人员就可以控制母船了。只需轻轻敲击电脑键盘，就可以让母船朝前或者向后移动几米，或者沿着一条笔直的航迹线缓慢前行。

母船下方是长长的电缆，然后是“美狄亚”，再然后是“杰森”。我们需要了解的数据非常多，都会通过导航屏幕显示出来。导航屏幕使用的软件由戴纳·约杰编写，每次出海之前他都会根据任务做适当调整，在航行过程中也会不断加以修改。马丁·鲍恩说：“它就是一个芭蕾舞剧团。”马丁·鲍恩认为，这套系统与电子游戏非常相似，只不过每次投进去的不是一枚枚硬币，而是上千美元。

“杰森”控制室的墙壁上安有五六块6厘米的视频和电脑监视器，用来显示从“杰森”的多个摄像头传来的影像与导航数据。监视器下方是一排控制台，包括操控人员的控制台、工程师用来监控水下机器人的各个系统和电缆绞车的控制台，还有导航控制台。有一个数据记录器负责更换录像带，记录所有活动。除此之外，控制室里就没有其他设备了，显得很宽敞。科研负责人通常就坐在操控人员的身后，指挥水下机器人的活动。室内还有10~20人，包括科研人员、工程师、研究生和媒体的摄影团队。

不过，在情况稳定时，控制室里的所有人都会把注意力集中在海底世界。鲍恩说："这时候，我们就进入了远程临场的状态。我会忘我地关注海底的动静，小心翼翼地指挥水下机器人'跳出美妙的芭蕾'。"

操控人员发现，这种置身海底的感觉与乘坐"阿尔文"号下潜到海底非常相似，但是他们操控水下机器人的物理环境却与"阿尔文"号大相径庭，控制室里的人员较多，容易让人分心。由"阿尔文"号操控者改任"杰森"操控者的威尔·塞拉斯说："各种输入数据让人目不暇接。显示屏已经给我提供了大量信息，但在操控机器人时，我的身后还有一大群专家。这边有一个家伙在发号施令，那边还有两个家伙也在不停地指手画脚……他们来自不同的学科领域，都希望做出自己的贡献。因此，我必须消化整理所有信息，然后确定水下机器人的下一个行动目标。"

操控人员掌握了一个诀窍：只听取关键几个人的意见。如果指南针出现问题，或者海面天气恶劣，操控人员就需要询问导航员的意见。我负责领航工作，并且已经学会在操控人员有需要的时候为他提供适当的信息：对母船位置稍加调整；请通报通航等级；小心，你靠得太近了。慢慢地，操控手就会在大脑里形成一幅地形图。"我开始在心中默想周围的情况。有哪些障碍物，我需要保持什么样的高度和多慢的速度……周围有那么多人帮助我，这是我的一大优势。"就这样，在海洋深处并肩作战多年之后，我与马丁·鲍恩建立了亲密的友谊。

借助新的光纤电缆、数字传输技术以及传输质量优异的视频摄像头，我们来到了另外一个世界。但是，被巴拉德称为"远程临场"的状态并不仅仅是技术成像的产物。事实上，按照现在的标准，当时的成像技术还非常原始，分辨率仅相当于老式彩色电视机，远够不上数字高清的标准。

人类在海底世界的临场感，与他们在那间漆黑的控制室里从事的活动有密切的关系。"杰森"在沉船现场、热液喷口等地发出脉冲信号

或者拍照时，控制室里的那些人密切观察、讨论、思考摄像头和传感器传送回来的影像。这种针对正在进行的探险活动展开的不间断的实时研讨，再加上我们眼前的那些美妙影像，将我们送到了另外一个世界。从本质上看，这与“阿尔文”号带给我们的体验有天壤之别。

有时候，你会因为控制室里的人不小心碰到你的椅子，而错以为水下机器人撞到了岩石。等到你“醒过来”，就会发现是你的身体欺骗了你的大脑。这种体验在载人潜水器上是无法复制的，只有水下机器人才会给我们这种错觉。海底世界的很多地方，尽管我们的身体从未去过，但我们的大脑和想象力却在那里逗留了很长时间，对那里的风景也了然于胸。

在这些变化发生的同时，专业领域也因此产生了矛盾。例如，考古专家习惯于亲手挖掘或者亲自潜到海底，一旦不能亲自到达现场，他们就会感到无所适从。我们颇费了一番口舌才让他们相信，坐在操控人员的座椅上拉动操纵杆亲自操控“杰森”机器人并不是充分发挥他们聪明才智的最佳方式。

“杰森”当然不是考古专家，它的作用只是通过电缆将获取的数据传送至水面。工程师和程序员们会根据这些上传的数据绘制地图和拼图，但是如何解读，就只能由考古专家来完成。考古专家们并不是用自己的身体勘查海底，而是坐在电脑屏幕前，通过数据分析来完成探险任务。有的考古专家认为这是了不起的变化，有的则不以为然。

职业认同的问题并不限于考古专家与科研人员。在一次探险活动中，摄影师也遇到了职业认同的问题，最终以一种荒谬可笑的方式平息了下来。当时，我们在靠近爱尔兰海岸线的一个水域勘查“卢西塔尼亚”号的失事现场，随队的一名摄影师来自《国家地理》杂志。作为知名杂志的成员之一，所有可以想见的傲慢与自负在他身上都有体现。这位摄影师在船上四处走动，用镜头捕捉水面上的各种操作。他知道

海底发生的一切才是最重要的，但他不大可能拍到海底的活动（而且任何海底活动的照片版权都不可能归他所有）。

于是，这位摄影师提出由他亲自操控水下机器人拍摄一些照片，但鉴于他没有经过专业培训，也没有相关的技术背景，操控人员与项目负责人都认为这可能会导致危险，因此拒绝了他。但是，《国家地理》杂志是这次探险活动的“客户”之一，支付了大笔的拍摄报道费用，因此他们有一定的发言权。

通过协商，我们最终找到了一个解决方案。我把照相机按钮从控制台上取出，给它焊接上一根1.8米长的电线，然后把按钮用胶带裹上，制成了一个小小的手持触发器。虽然遥控水下机器人的操控者负责装胶卷、调整相机位置以便取景，但是按下按钮、触发照相机的却是《国家地理》杂志的那位摄影师。这样一来，当该杂志报道这次探险活动时，照片的作者就肯定是这位摄影师，而不是马丁·鲍勃或者遥控水下机器人的其他操控者。

在随后几年的时间里，我们团队继续使用机器人“杰森”完成各种探险活动，我们还想方设法地改善它，努力建立它的科研工具地位。巴拉德的身份比较特殊，与美国海军和《国家地理》杂志的关系都比较好，因此我们时不时地就能接到一些有价值、不同寻常的创新项目。传统的科研机构不可能为这些项目提供任何资金支持，保守的美国国家科学基金会就更不用考虑了。那时“冷战”刚刚结束，美国海军可以拿出他们手里的一些资源（例如，“NR–1”号潜艇）做某些实验。但我们都知道这种形势只是暂时的。短时间内，巴拉德愿意为我们提供这种支持，但他有自己的安排，必然要启动他的下一个重要计划。此外，他与伍兹霍尔海洋研究所的关系仍然比较紧张。他正在康涅狄格州的米斯蒂克市建立新的办公室，以便展示他自己的一些项目。从长远来看，“杰森”要取得成功，就必须赢得主流海洋学家们的认可。

令人意想不到的是，人们对“阿尔文”号的看法出现了分歧。“阿尔文”号团队是一个以操作见长的团队，操控对象是一个已经存在并且得到认证的潜水器。每18个月左右，“阿尔文”号就会大修一次，并进行升级改进，但是他们通常需要遵循一个指导原则：“不要碰那些还能正常工作的部件”。因此，随着时间的推移，它与主流技术的差距越拉越大，在计算机与先进传感器等方面更是如此。

“杰森”的情况则完全不同，制造出“杰森”的深潜实验室是一个研发团队。而且，“杰森”尚未经过美国海军的认证，我们可以不断地做实验和做出修改。因此，“杰森”一直处于一种变化的状态。通常，在母船前往下潜地点之前，“杰森”的改造才会告一段落。

由于技术没有经过检验，因此科研人员仍然犹疑不定。在早期的一些下潜活动中，因为深受技术难题的困扰，收集的数据寥寥无几，甚至遭遇了危及生命的灾难。有一次，在半夜收回“杰森”时，吊臂从我们头顶上方掉了下来。还有一次，我们在北太平洋遭遇暴风雨，长长的电缆（带有足以致命的高压电）没有收好，就散落在甲板上。事实证明，水下机器人无论在价格还是安全性方面都不如“阿尔文”号。即使在进展顺利的探险活动中取得过令人炫目的成功，也无法弥补麻烦不断、长时间停工造成的负面影响。

最重要的是，大多数科研人员都不相信这样一台机器人可以帮助他们完成科研工作。鲍恩回忆说：“人们对遥控水下机器人的反应大多是不屑一顾：嘘……无人有缆遥控潜水器是什么？毫无用处！”“阿尔文”号的围护结构、帅气的名字以及几十年来都非常稳定的操作性（尽管年长一些的科研人员肯定记得早期的“阿尔文”号并不可靠，造型奇特，经常出故障），已经赢得了他们的青睐。远程控制科学似乎对科学探险人员的职业认同造成了威胁。是啊，凭什么让他们放弃令人兴奋不已的深海体验。

团队的另外一名成员回忆说："工程师觉得理所应当的事情，有些潜在用户根本看不到。我的意思是，无人有缆遥控潜水器在深海中的用途还需要解释吗？"他说，"克服这些潜在用户的阻挠"是一件极其艰难的工作。他认为这是一个"社会问题"，因为这些人"就相当于一个工会组织"，他们的口号自然是"保护'阿尔文'号"。20年来"阿尔文"号历经了无数艰难坎坷，在他们看来，遥控水下机器人想要抢夺"阿尔文"号的成功果实。

威尔·塞拉斯对这场博弈的看法颇有意思。1989年，在"阿尔文"号团队做操控员的他来到了杰森团队，仍然做操控员。在一次持续三周的巡航过程中，他们完成了20次下潜任务，每名操控员平均负责5次，而且每次坐在球体结构里的科研人员几乎都不相同。作为"杰森"的操控员，他觉得自己与科研人员的关系更加亲密了，"因为我接触的科研人员非常多"。

"阿尔文"号的设计初衷是成为一种搜索工具（尽管它从来不擅长搜索工作）。三名乘员的视野没有任何重叠，目的是让他们在任意时间里的观察范围都达到最大。但是，在大部分时间里，"阿尔文"号完成的都是近距离采样等操作，科研人员无法看到操控员的操作，他们只能依次走到观察孔前进行观察，但这会破坏工作的连续性。或者，他们可以采用霍尔格·若纳什在1979年加拉帕戈斯群岛探险活动中使用的办法——如果通过摄像头观察。塞拉斯回忆说："我们发现，如果通过安装在观察孔正上方的0.12米监视器观看操作员的操作，人们就可以参与并体验整个下潜过程。"即使在"阿尔文"号狭小的球体结构中，远程临场的令人信服的价值也得到了充分体现。

尽管有人反对，但在随后几年里，我们还是继续采用了遥控水下机器人与载人潜水器组合的探测方式，并对这两种体验以及所获取数据的质量进行了多次对比。在靠近西雅图海岸线的海岭热液喷口附近，我乘坐"阿尔文"号下潜到海水深处，并架设好导航设备。从潜水

器里看出去，海水闪烁着微光，从热液喷口缓缓升起，看上去就像银色的水银在流淌，十分漂亮。

不到一周时间，我们和“杰森”再次来到这里，又拍摄了一些非常精彩的视频。这次活动在技术方面取得的最值得我们骄傲的成就，就是利用“杰森”勘查了热液柱的化学成分。通过计算机控制系统，我们让“杰森”穿过那股热液柱（看上去就像一个大烟囱），以便采集精确的化学成分数据。通过这次勘查活动，我们绘制了一幅热液柱的化学成分3D图像，帮助化学家拉塞尔·麦克杜夫第一次精准地测算出热液与周围海水混合的数据。

几年之后，这项在这次活动中崭露头角的技术，在人们为古老的谢尔克暗礁船只失事现场绘制地形图时达到巅峰，戴纳·约杰的监控设想得到了进一步的肯定。导航、传感器、影像和计算机精确控制的协同作用，使水下机器人彻底摆脱了所谓的“左顾右盼的眼睛”等比喻。

“杰森”通过数字化处理技术，为海底绘制了一幅只能存在于电脑中的虚拟3D模型。“智能”、“自主”都不是它最重要的特点。它所有的工程结构都是为了保证它可以精确地到达指定位置，而不会出现在任何其他地方。需要发挥聪明才智的是人类的研究，而人类研究的地点并不是在“阿尔文”号的球体结构中，而是在母船上的“杰森”控制室中。而且，在探险活动结束后几周乃至几个月，还会对数据集进行更广泛的研究。

然而，人们的争论愈演愈烈，这是因为这些问题非常重要。人类到底应该以什么样的方式出现在海底世界？这个问题影响到政府的科技政策与资金支持。鉴于伍兹霍尔海洋研究所在经济与文化两个方面对“阿尔文”号与“杰森”都有大笔投入，因此在正式的公开场合，研究所的主张是“两者都有价值”。但是，海洋研究的圈子比较小，资源有限，不可能为了避免发生争执就付出两倍的资源。

“阿尔文”号已经工作40年了。尽管在无数次大修过程中，这台潜水器几乎所有部件都更换过，但它还是保持了20世纪60年代的基本设计风格。由于金属疲劳，它的钛质球体结构的使用周期即将结束。是否应该以全面升级的新版“阿尔文”号取而代之呢？新“阿尔文”号应该是什么样子？它又能胜任哪些新任务呢？

一些著名的科学家认为，新“阿尔文”号的潜水深度应该在现有的4 500米基础上增加一倍多，达到约10 000米的深度。鉴于“阿尔文”号在热液喷口研究领域的辉煌历史，他们相信新“阿尔文”号可以更进一步，至少到热液喷口周边去看一看。他们还呼吁美国人要有民族自豪感，因为日本的“深海”号已经达到了6 500米的深度。对于某些人而言，“阿尔文”号丢掉了“下潜最深的潜水器”这个称号，是一件令人难堪的事。

当然，我们还要考虑“阿尔文”号这些年都在干什么。“阿尔文”号几乎一直停留在2 400~4 000米深的水域中，因为这个深度比较适合科研人员研究热液喷口。如果下潜到10 000米的深度，需要付出的成本将是一个天文数字。由于造价低廉得多的遥控或自主水下机器人也能用于勘查上述水域，而且不会危及人的生命安全，因此提高“阿尔文”号下潜深度的想法很难让人接受。

关于新“阿尔文”号，人们争议的第二个问题是图像质量。某些科研人员认为：“我们都知道，与无人有缆遥控潜水器相比，‘阿尔文’号的观察效果要好得多。”当时，“杰森”的继任者“杰森II”号体型更大，已经完成升级改造工作，即将投入使用，但是它不能拍摄高清视频。我询问设计者（我的前同事）为什么没有加装高清视频设备，他们回答说“科研人员坚信高清视频并非必不可少”。

这时候，我已经离开伍兹霍尔海洋研究所，来到麻省理工学院。在随后6年的时间里，我都在一个委员会工作，代表赞助机构监督“阿尔文”号与“杰森”项目的进展，扮演魔鬼代言人兼社会学家的双重角

色。我发现科研人员的思路十分模糊，于是我提出一些问题，帮助有争议的双方厘清思路。如果保留载人潜水器是出于影像质量方面的考虑，那么这是不是意味着每个人在获准潜水之前必须接受眼科检查呢？他们纷纷回答说，不是这么一回事。其中一个人说："我们说的其实是集中注意力的问题。我们都知道，'杰森'控制室里十分热闹，很容易让人分神。而'阿尔文'控制室里只有两名科研人员和一名操控员，他们的注意力更加集中。"

难道为一个新型载人潜水器辩解的理由，就是有利于集中注意力吗？显然，这些科研人员的真实意图其实跟他们的个人体验有关。

有些人认为，必须亲临海底才能有效地发挥人类的独特能力。随着技术的进步，他们抱持这种观点的理由不断变化。最后，一名科研人员站起来说："我们当初之所以选择攻读这个领域的研究生学位，原因之一就是有机会乘坐'阿尔文'号前往深海。我不愿意看到我们的研究生失去这种机会。"

我想，这下问题应该清楚了吧：产生争议的原因是职业认同的问题。他们习惯于实地考察，他们还想鼓舞、训练下一代，让他们也接受这个理念。接着，这些科研人员又从文化角度阐述了他们的理由："阿尔文"号是一个符号，人们把它与海洋研究所联系起来，它可以把人们吸引到海洋科学这个领域，进而进入更笼统的自然科学领域。这是又一个"充分"的理由，与人们用来对美国国家航空航天局载人航天飞行项目表示支持的"航天飞行可以振奋人心"这个理由大同小异。

实际资源面临短缺的风险。美国拨付给整个海洋学研究的预算大约是一亿美元，而一台新"阿尔文"号的预算成本就要占其中的一小半，至少为4 000万美元。而且，水下机器人的造价从几十万美元到几百万美元不等，因此一台新"阿尔文"号的造价就相当于40~100台水下机器人的总造价。这么多台水下机器人，可以勘查很大一片海域。但

是，除非潜水器资金赞助是一种零和博弈，否则这种算法没有任何意义。如果“阿尔文”号获得美国国会资助的可能性高于水下机器人，那么你当然愿意建造一台新“阿尔文”号。有人出钱，为什么不接受呢？不过，如果新“阿尔文”号会占用其他赞助资金，那么它必然引发激烈的辩论。不过，这是华盛顿如何制定科技政策的问题，而不是技术能力的问题。

就像太空、战争、航空以及无数其他领域一样，这些科研人员在面临新的工作方式时，争论最激烈的问题不是某项技术能力，而是自豪感、文化和职业认同的问题。最终，委员会（在科研工作中使用“阿尔文”号的科研人员占据优势地位）建议建造一台新“阿尔文”号。伍兹霍尔海洋研究所决定为“阿尔文”号争取一个新的耐压球体结构，增加窗户的尺寸，但其余部位大多保持不变。新“阿尔文”号的潜水深度将达到6 000米，而不是科研人员最初呼吁的10 000米。

改造之后，出现在人们面前的是一台升级版的“阿尔文”号。舷窗变大了，而且不同舷窗的视野范围有重叠部分。新“阿尔文”号还安装了大量本来是为“杰森”以及自主机器人设计的电子产品和软件。

因此，远程探险的模式并没有取代人类亲临现场的模式。两者都因为对方的存在而被赋予了新的内容。“杰森”最初有一个粗糙的机械臂，因此“阿尔文”号给自己的定位是有灵巧机械臂的潜水器。当“杰森II”号安装了与“阿尔文”号相同的机械臂之后，科研人员又认为“阿尔文”号的观察效果是一大优势，尽管他们并不要求新“杰森”安装高清视频。在整个过程中，水下机器人的部件被一个接一个地搬进了“阿尔文”号的球体结构。现在，“阿尔文”号不仅装有遥控机器人和自主机器人用于导航的多普勒声呐，还安装了指挥“杰森”实施探测、保持航线的精密控制软件。

如今，光纤电缆可以做到跟头发丝一样细，可以将上千兆字节的数据传输到海面上。为什么不在“阿尔文”号上连接一根光纤电缆，让

海面母船上的科研人员实时参与下潜活动呢？多年以来，总有人提出这个观点，但从来没有付诸实施。这种做法会不会将“阿尔文”号的“自主性”破坏殆尽呢？“阿尔文”号的操控员和与他们搭档的科研人员唯恐他们的亲密友谊受到影响，因此宁愿把自己关在钛质球体结构中，而不想与外界发生任何联系。

在世纪之交到来的前夕，各种全新的水下机器人纷纷亮相。这些自主水下机器人自带电池供电，无须用笨重的电缆连接到母船上。与“杰森”等水下机器人相比，它们的体积更小，体重更轻，敏捷程度更高。由于彻底摆脱了母船的束缚，移动时的控制也更加精确。不过，它们在水下独立活动的机会非常少。只要有可能，它们都会通过声学通信手段与母船建立联系。即使带宽非常小，这些通信系统也可以每隔几分钟发送一段相当于文本信息的数据，报告水下机器人的状态和位置。同“杰森”一样，在按照人们的指示工作时，它们取得的效果最好；同“杰森”一样，它们真正的贡献是用数字化方式描绘海底地形。关于这些水下机器人的“自主性”，我们将在第6章详细讨论。

与此同时，还有一些新式潜水器不断涌现，从而使载人、遥控和自主型潜水器之间的界线进一步模糊化。2009年，伍兹霍尔海洋研究所推出的一台潜水器打破了潜水深度纪录，在马里亚纳海沟下潜至11 000多米的深度。这台名叫“海神”号的潜水器既不是“阿尔文”号的改装版，也不是与“杰森”相似的传统无人有缆遥控机器人，而是一台混合型潜水器，有遥控（有缆）和自主（无缆）两种操作模式。同“杰森”一样，“海神”号工作时也需要水面母船的支持，与人类操控员的距离不会超过几千米。遗憾的是，2014年，在新西兰克马德克海沟水面下10 000米（超过6英里）的深度工作时，可能是由于水压过大，“海神”号被挤压得支离破碎，再也没能回到水面。值得庆幸的是，没有造成人员伤亡。

海底世界的远程临场，为伟大探险家的诞生创造了条件，也有可能培养出书呆子型探险者，因为后者只需要坐在电脑屏幕前，几乎不需要耗费任何体力。刚开始时采集到的数据似乎虚幻缥渺、难以理解，给人们热切的期望浇上一盆冷水。如果没有丰富的想象力，就很难投入到这些数码照片拼图或者水深图当中。但是，每幅图都是一扇门，坐在“阿尔文”号球体结构中的人根本无法想象这些门的后面是一个什么样的世界。在这里，人们可以跨越时间的界限，悠然自得地进行探险活动，也可以突破空间的限制，与近在身侧和远在天边的同事展开交流。在这里，人们可以在古代沉船上方的任何位置以任意视角进行观察和研究。

从某种程度来说，我们的所作所为改变了人们在探险活动中所处的位置。与此同时，探险工作的性质也发生了变化，海洋学、考古学和探险的职业内涵亦是如此。

第3章
飞行安全：人类飞行员与自动化飞行系统的完美合作

伴随机器人与自动化技术的崛起，在航空领域，人类飞行员与自动化飞行系统合作驾驶飞机已成为一种常态。

无论是手动飞行还是自动飞行，飞行安全才是我们最关心的问题。

法国航空公司447号航班以每分钟几千米的速度从漆黑的天空坠落时，机上的两名飞行员手忙脚乱地试图控制住这架飞机。飞行员戴维·罗伯特绝望地大叫起来：“飞机完全失去控制了！我们根本不知道发生了什么事，我们已经尽了全力！”这是一个具有讽刺意味的悲剧，因为他们当时驾驶的是一架一切正常的飞机。导致自动飞行系统停止工作和电传飞行控制系统停止保护飞机的罪魁祸首是结冰的皮托管，但事实上，大约1分钟之后这个问题就已经自动解决了。

不过，由于至少响起了19次警报，再加上各种信息相互矛盾，致使近期内缺乏人工驾驶经验的机组人员在吃惊与困惑之余实行的错误操作，最终导致飞机熄火。重新控制飞机并非不可能的事，因为人们早就找到了一些应对不稳定空速的方法（诸如，减小机头的俯仰角，同时保持机翼的水平状态，飞行就不会出大问题）。但是，机组人员无法正确理解当时的情况，他们也不知道该怎么办。事故报告称，他们“完全失去了对局势的认知控制”。

法航447号航班最后几分钟的通话记录，让所有听到它的人都胆战心惊。飞行员的大脑一片空白、手足无措，导致飞机从高空坠落，不仅自己失去了生命，把生命安全交给他们的那些乘客也未能幸免。在那4分半钟的时间里，狭小的飞机驾驶舱里的人陷入了自动化系统摆在我们所有人面前的两难境地：在计算机控制让我们无须亲手完成各项操作的同时，我们有可能发生某种变化，对计算机控制产生或大或小的依赖性。如果这些系统失效或者崩溃（这无法完全避免，尽管它发生的可能性非常小），我们可能无法恢复到曾经的状态，重新掌控大局。

我们头顶上的这片天空对孤立无援的人总是充满敌意。伊卡洛斯(注)已经告诉我们，如果你的翅膀没有了，你就会从空中坠落而亡。现在的飞机在距离地面数千米的高空中高速飞行，那里的空气极其稀薄，即使经验丰富的飞行员在手动驾驶飞机时也不轻松。因此，如果没有计算机的帮忙，那么你可能也无法摆脱坠地而亡的结局。

与海洋科考船和深海机器人不同的是，民航飞机驾驶舱里无比复杂的技术系统需要在极端环境下运行，更关乎许多人的生命安全。每天，有成千上万的人登上航班，在进入机舱的那一刻，我们就把自己的生命安全托付给了飞机驾驶舱里的人与机器，希望他们能安全地把我们带上天空，再顺利地返回地面。在这个过程中，飞行员扮演了什么样的角色呢？鉴于他们有时候会犯错误，是不是应该将他们彻底赶出驾驶舱呢？

澳洲航空公司飞行员理查德·德·克雷斯皮尼的成长经历堪称典范。童年时期的克雷斯皮尼就对飞行十分着迷，在接受了专业训练之后，他进入飞行领域。开始的时候，他驾驶过一些小型飞机，后来是波音747型飞机，最后在大型飞机空中客车上担任机长。但是，克雷斯皮尼自称，他在业余时间是一个电脑迷，经常编写一些电脑程序，还经营

了一家小型数据库公司。他也喜欢骑摩托车，觉得“摆弄机械装置是一件惬意的事”。

2004年，克雷斯皮尼结束了波音飞机经典序列的飞行任务，从操纵老式圆形仪表盘的波音飞机改为驾驶自动化程度更高的空中客车。克雷斯皮尼说：“我要把18年来在波音飞机上学到的那一套技能全部抛弃，代之以全新的空中客车驾驶技术。这几乎意味着我要从头开始学习飞行技术。”尽管他比较喜欢高度自动化的空中客车，但他还是有点儿不适应。他说：“十几岁时我就喜欢把摩托车、汽车拆得七零八落的。自此我养成了一个习惯：不喜欢控制我无法完全理解的机器，必须弄明白这台机器到底是如何设计、如何组装的。”他用一句大家都比较熟悉的话作为结束语：“空中客车的飞行员既要驾驶飞机，还得操控各种系统。”不过，他仍然“希望自己可以更进一步，而不是按部就班地按照飞行系统的要求驾驶空中客车”。

2010年11月4日，克雷斯皮尼有了一次“更进一步”的经历。当时，他驾驶着空客A380（双层四引擎巨型客车）从新加坡飞往澳大利亚。起飞4分钟之后，其中一个引擎发生了爆炸。涡轮机的爆炸碎片割断了机翼里的多条燃油管路、液压管路和电气线路，导致飞机失去控制，燃油倾泻而出。这种紧急状况与法航447号航班面临的状况有相似之处，甚至更加严重。

飞机的电子中央飞机监控（ECAM）系统（令法航447号航班飞行员惊慌失措的警报就是这个系统发出的）启动了报警程序，一连串令人心惊肉跳的信息出现在克雷斯皮尼的眼前。每一条信息都指示飞行员执行一系列任务，但是他们还没来得及执行，新的信息又弹了出来。克雷斯皮尼说：“我们依据指令完成了一个又一个任务，但是新的任务清单却不断涌来，而且都是非常重要又令人不安的任务。”在两个小时内，130个小故障警报和120个重要警报此起彼伏，尖利的报警声不绝于耳。

大量的计算机指令让克雷斯皮尼穷于应付，他没有办法找到飞机发生故障的根本原因。他说："这就像一个军事应激测试……我们不停地追逐计算机程序，反而把最应该做的事情，诸如驾驶飞机、平安着陆等，都抛在脑后了。"

最后，克雷斯皮尼想起了飞行指挥官基恩·克兰兹指导阿波罗13号应对危机的方法：不要过分关注出了什么故障，而是看看有哪些部件仍在正常工作，然后借助这些部件安全返航。于是，克雷斯皮尼集中注意力，调配好剩余的可用资源，和机组人员一起，让澳航QF32号航班安全地降落在新加坡机场，没有造成任何人员伤亡。

每次因为人为错误导致伤亡事故的时候，我们都能想到在其他一些场合，人类是如何通过自己的判断和所掌握的技能挽救生命的。比如，澳航QF32号航班，以及2009年在机长杰斯利·萨伦伯格手动操控下"奇迹般"地降落在哈得孙河的美国全美航空公司航班这些事似乎表明，经验丰富、技能娴熟、精明能干的人是我们生命安全的重要保证，他们在机器失灵时为我们构筑了最后一道安全防线。

但是，法航447号航班和其他一些航班则辜负了人们的期望。2013年夏天，天气晴好，但是韩亚航空公司214号航班的飞行员驾驶着现代化的波音777飞机在旧金山机场降落时却发生了事故。这次紧急迫降导致3人丧生，数十人受伤。观察家不由得发出疑问：在自动化面前，飞行员只在危机发生时才有机会发挥作用，他们的基本飞行技能会因此衰退吗?

技术变革本身的特点决定了它必然会加剧这些问题，一代又一代新型飞机在复杂程度上形成了你追我赶之势，而且大量安全措施的基本原理人们根本无从了解。毫无疑问，航空电子设备及相关软件已经成功地被简化，它们的操作界面也更友好。它们的安全纪录堪称完美，总体来说，飞行的安全程度肯定胜过以前。但与此同时，它们也大幅度地增加了操作的复杂性。飞行管理系统（FMS）就是最好的例

子。所谓飞行管理系统，就是控制飞机执行飞行总体计划中所列任务的计算机系统。该系统的键盘接口非常笨重，还保留着20世纪80年代的风格，要求飞行员不断处理“计算机语法、指令序列和程序，而不是引导他们完成心理成像”。

航空学已经陷入了左右为难的境地：提高自动化程度在很多情况下可以增加安全性，但与此同时也会增加飞行员的负担。技术系统难免有失灵的时候，在这种关键时刻，人类仍需介入其中。但是，如果人远离机器，他们的技能可能会退化，在危急时刻可能难以有效介入。法航447号航班正是遭遇了这个问题。简单地归咎于飞行员，或者认为这些事故是“人为错误”导致的，并不能触及问题的实质。

研究人员关注这些问题已经有几十年的时间了，但找到答案并不是一件容易的事。约翰·劳勃是一位受人尊敬的航空安全工程师，美国国家运输安全委员会（NTSB）的资深成员。他用嘲讽的语气，对一些研究成果进行了归纳和评价：

> 驾驶舱的自动化既会增加又会减少工作量，还会重新分配这些工作量。它既增加了飞行员对局面的了解，又会让他们不知内情；既增加了飞行员埋头看仪表的时间，又给他们更频繁的观察留出时间；既减少了训练要求，又增加了训练要求；既降低了飞行员的工作难度，又增加了他们的疲劳程度；既改变了飞行员的任务，又没有改变他们的职责；在某些方面降低了开销，在另外一些方面增加了成本；既高度可靠，将人为错误降至最低，又会导致过错，改变了人为错误的性质；不理会小的过错，却使发生严重过错的可能性有所提高；是飞行员希望拥有的，却没有得到他们的信任；让飞行员感到无聊，又不让他们感到乏味；既增加了飞行安全性，又对安全性产生了负面影响。

研究人员为各种问题给出了不同的说法，诸如“自动化的突然袭击”、“自动化依赖症”、“自动化偏见”等，并一一加以研究。一位飞行员在接受我的采访时，把他的飞机上的电脑称作“随时准备发动袭击的眼镜蛇”。他还说：“只要我手中有一根合适的长竹竿，我就会拨弄它。我也许能应付这个家伙，但我不知道它会不会突然醒过来，然后咬我一口。”

在20世纪90年代拍摄的某个美国航空公司的培训视频中，一位经验丰富的机长把飞行员称作“离不开紫红色路线图的孩子”。他的意思是这些飞行员过于依赖自动化，一味地坐在那里，任由计算机按照显示屏上用紫红色线条标注的飞行路线控制飞行。

不过，今天的大多数飞行员（例如，克雷斯皮尼）在职业生涯开始时所接受的训练，还是在那种传统的“圆形仪表盘”驾驶舱里，后来才逐渐过渡至装有计算机系统的新式驾驶舱。但是，现在的年轻飞行员从未驾驶过装有传统的高度计或者空速表的飞机。他们会不会有所不同呢？一位年轻飞行员告诉我：“情况似乎跟过去不一样了……飞行已经变成了一件非常简单的工作。你走进驾驶舱，打开电脑，回到地面，关掉电脑，然后就可以回家了。”

这个拥有百年历史的职业，现在会给人带来什么样的新体验呢?

所有的飞行员都问过这样的问题：“它在干什么？”他们指的是驾驶舱里的电脑（研究人员把这个现象称作“模式意识”）。一位飞行员说：“每次问这个问题的时候，我都会战战兢兢。因为我非常清楚，在99%的时间里，电脑都在严格按照我的指令工作，但是，我不理解的恰恰就是我自己下达的指令。”另外一位飞行员说，只有经验不足的飞行员才会问“它在干什么”。有经验的飞行员则会无可奈何地接受现实，他们会耸耸肩，然后说“有时候，它就是会这样干”。还有一些飞行员则洋洋自得地说：“电脑为什么这样干，这不是什么问题。如果一

定要刨根问底，你需要问的问题是‘我为什么要让电脑控制我呢？’，忘掉电脑吧，把飞机的操控权夺回来！”

人们对人类能动性、工作控制权，以及系统内生活和工作方式等问题的基本认识将因此受到严重影响。飞行员的身份认同危机就像一面镜子，反射出海底世界的研究人员、无人机操控人员、太空探索者等无数职业所面临的问题。这些职业人员的认知能力受到计算机和自动化的压迫。尽管他们生活在一个虚拟的数字世界，却仍然在承受现实世界带给他们的各种后果与困难。在未来的自主驾驶汽车里，人们可能会像飞行员那样紧张地监控电脑系统，而不会像飞机上的乘客那般心情平静、轻松愉快。

2013年年底，美国联邦航空管理局（FAA）的一个联合工作组对当前飞机驾驶舱的自动化技术水平，以及飞行员的飞行技能进行了评估。他们调查了最近发生的26起大大小小的事故，发现飞行员可能过于依赖自动化系统，而且他们并不能完全理解这些系统，以致在应用中可能会出现各种错误。此外，飞行员必须具备的知识和各项技能都有所扩充。尽管某些传统技能只在出现紧急情况或者故障时才会派上用场，正处于“退化”状态，但是飞行员仍然必须熟练掌握这些技能。“常规”飞行技能的定义已经发生变化，即使与不久之前相比，今天的飞行员也需要掌握更多的技能。

工作组的负责人之一凯西·埃伯特是一位从事计算机科学研究的博士，也是联邦航空管理局驾驶舱人为因素研究领域的首席科学家和技术顾问。她指出，飞行操作自动化并不意味着要排除人的参与，而是让人发挥不同于以往的作用。她说：“（任务自动化的）目的不是根除人为错误，而是试图改变错误发生的时机。”此外，她还指出，有经验的飞行员所犯的错误并不比经验少的飞行员少，但是错误的类型有所不同。从认知学角度看，错误是“大脑带来的负面影响”，也是学习中必不可少的。

数据表明，只有10%的商业飞行是完全按照飞行计划顺利完成的，在大约20%的飞行中，所发生的系统故障需要机组人员做出响应。埃伯特和联合工作组发现，由于数据大多来自事故报告，因此“能反映航空系统优点的数据源非常少”。例如，在日常飞行中，飞行员通过大量的交流互动，改正人和机器的过错，确保航空系统正常工作。但是由于飞行员的这些努力往往不为人所知，因此工作组无法获得这些有效的相关数据。

事实上，这些数据表明，飞行员为降低风险真的完成了大量的幕后工作，而航空系统的总体设计基础就是飞行员能够发挥重要作用。例如，飞行员不可能一直按照标准操作程序驾驶飞机，这是因为这些程序与他们所面对的情况并不完全匹配，或者是因为这些程序太长、太琐碎，他们根本没有那么多的时间一一执行。很少有人研究过飞行员的这些行为细节，但是对此有所了解是讨论无人驾驶飞机的基本前提。

飞行程序并不是必须遵守的铁律，而是性能、简单性和可靠性等多种因素的折中方案。与人们使用的计算机程序一样，这些规程也是由人编写而成的。紧急情况与工程师预测共同列入任务清单的情况经常无法形成一一对应的关系。就像QF32号航班一样，飞行员在关键时刻必须随机应变，有时甚至需要违背电脑给出的建议。飞行员就像黏合剂，使整个系统浑然一体，还要对协议、通信、接口或者程序中不完善的地方进行弥补。

这些发现表明，对于人为问题，新技术应该加强解决这些问题的能力，而不是试图根除这些问题。如果有可能，自动化应该帮助人类完成自己的任务，而且不会导致他们对这些机器或者他们的职业变得生疏。

在航空领域，人类的身份一直随着技术的变化而改变。因此，为了弄明白当前和未来的一些问题，我们需要先对飞行员的历史稍加了

解。飞行员在现代人的演变过程中扮演了重要的角色，而且飞行经验一直随着飞行技术的变化而不断改变。

怀特兄弟最大的贡献，显然是他们的一个理念：飞机的飞行必须以人的积极主动的控制为前提条件。这个理念不仅能使飞机飞上天空，还催生了20世纪的一项伟大的社会发明——飞行员。飞行员是飞机的操控者，搭乘空中交通工具的旅行者，俯瞰大地的空中飞人。

航空史研究人员罗伯特·沃尔指出："20世纪开始呼唤另外一种英雄——有能力掌控19世纪馈赠给人类的冷冰冰、不食人间烟火的机器，并把它们转化为辉煌艺术和绚丽神话中的英雄。"从查尔斯·林德伯格到尼尔·阿姆斯特朗，再到萨伦伯格，飞行员已经化身为一种文化偶像，告诉世人人类正处在技术与社会变革的最前沿。人们为他们冠以种种美称，诸如天空探险者、空中艺术家、第三维度运动员。第一次世界大战为他们赋予的新身份（王牌战斗机飞行员更是被称作"空中骑士"），让人们不由得回想起那些远古神话，也让他们常常缅怀从这场以凶险异常、随时有人丧命的战争中涌现出来的英雄们。

令人意想不到的是，包括威尔伯·莱特、查尔斯·林德伯格和尼尔·阿姆斯特朗在内的大多数飞行员都不具备这些英雄形象，反而更像机修工或者工程师，浑身散发着节制、从容、专注等中产阶级美德。20世纪飞行员的传奇故事演绎的是人们的飞行员梦想、众所周知的神话和成功飞行员赖以保全性命的真实个性之间的矛盾，以及人的身份与新技术共同演化的过程。

虽然飞行员可以在蓝天上纵情享受自由和自主权，但是长期以来，对稳定性、安全性和能力等方面的追求，让他们被迫在控制、直觉和感知等方面做出让步，导致他们的愉快心情大打折扣。在描述自己的非洲丛林飞行经历时，女飞行员柏瑞尔·马卡姆说，就像有过无数伟大船长的那个时代已经成为历史一样，"涌现出无数伟大飞行员的时代"也已经落幕。"伴随着发明天才的前进步伐，在一张张不能发出声

音，但是能言会道的白色脸孔以及钢质齿轮、铜质圆片和纤细如发的金属线的推动之下，他们逐渐消失在历史的长河之中。”

当代人对于马卡姆的叹息并不会感到陌生，但是她写下这番话的时间是20世纪30年代。她笔下的“纤细如发的金属线”就相当于今天飞行路线图上的那些紫红色的线条。在飞机被云层包围时，那些刚刚成功入侵驾驶舱的新设备会告诉飞行员如何实现平稳飞行。马卡姆还为飞行员的能力将因此下降而感到遗憾：“如果你不看空速表、高度计和倾斜转向指示表就无法飞行，那你就不能开飞机。”

马卡姆发表此番言论，主要是针对20世纪30年代迅速崛起的仪表飞行。仪表飞行相当于50年后借助计算机进行的自动飞行。在仪表飞行时代，飞行员只需把注意力集中在驾驶舱里的各种视觉指示器上，而不需要以地平线或者地面目标作为视觉参照物。吉米·杜立特（美军飞行员，第二次世界大战中的东京空袭以他的名字命名为“杜立特空袭”）曾经对飞行员进行过一些早期研究。他发现，马卡姆针对飞行员穿越云层的飞行操作发出的感慨是不正确的。如果不看地面或者地平线，飞行员是不可能完成安全飞行任务的。

为了解决这个问题，人们在驾驶舱中安装了由陀螺仪驱动的设备，随时指示向上的方向。1929年，杜立特完成了第一次仪表飞行。他驾驶的飞机座舱外面加装了一个严严实实的外罩，而且飞机只能接受他的指令。在这种情况下，他完成了起飞、环绕试验场飞行一圈、着陆等动作。直到今天，仪表飞行仍然需要接受美国联邦航空管理局的特别评估。飞行员训练程序告诉他们，要信任自己的眼睛和看到的各种数字，而不是自己的身体。如果仅凭本能在云层中飞行，几分钟之后就会机毁人亡。

新技术必然导致人的身份发生变化。飞行员再也不能像机修工一样毛躁地凭直觉行事，而要像受过良好教育的理性主义者一样拥有数学头脑。这些设备的设计先驱查尔斯·斯塔克·德雷珀故意把它们称

作“instruments”（仪表），目的就是让驾驶舱给人一种现代科学实验室的权威感。20世纪30年代，民航飞行取得了蓬勃发展，对技术和社会进步也提出了要求：飞机可以在各种天气条件下安全稳定地飞行，工作人员必须举止优雅，统一着装，确保公众感受到严肃性和舒适性。要让公众选择民航飞机作为例行的、安全的交通工具，不仅是飞机，飞行员也要给他们一种踏实可靠的感觉。

罗伯特·巴克的飞行生涯始于仪表飞行时代，结束于自动飞行时代，因此他的身上集中体现了这种身份演变的过程。作为一名多产的航空作家，巴克在作品中表露出对他这一代飞行员的焦虑之情。在他职业生涯早期的20世界30年代，现代化的DC–2和DC–3型飞机“要求飞行员首先成为一名技术人员”。在关于随后40年时光的回忆录中，他带给读者的其实就是飞行员失去控制权和自主权的全过程。巴克认为，技术并不是导致全部问题的唯一根源，管理工作、政府规章制度和工程师也应承担一部分责任。

人们通常把这个变化过程形容为由手动控制飞机的飞行员向“系统管理员”式飞行员的过渡。“这个表达令我异常难受。”巴克说，“无论形势发生了什么样的变化，你都应该具备丰富的飞行知识、接受过专业的飞行培训、有很好的判断力。只有这样，你才是一名飞行员，而不是一名系统管理员。”

1994年，巴克在他的著作中写道，当他坐进装有电脑显示器的新型驾驶舱时，“恍若走进了一家现代艺术馆”，赏心悦目的色调“就像蒙德里安或者戴维斯创作的抽象画，与传统的飞机仪表大不相同”。从认知角度看，飞行越来越像一种感受视觉刺激并做出响应的行为。

巴克用现代派画家的作品来比喻驾驶舱，这种说法非常恰当，因为支离破碎的视野还象征着对职业身份的认同也被破坏得面目全非。巴克认为，所有这些都加重了“飞行员的负担”，因为飞行员不仅需要“承担更多的任务、更大的责任，还必须有渊博的知识，对科学、法

律和心理学等都有了解”。巴克并不反对建立“庞大的智慧库”，但他认为，在“来不及思考”的紧急情况下，他不会动用这些知识，除非有人要求他这样做。

显然，巴克和无数飞行员对飞机驾驶舱的特殊性认识不足。驾驶舱是一个争论不断的地方。与现代生活的其他领域一样，在驾驶舱里，技术和劳动经常交织在一起，而且风险更大，强度也更大。飞行员就像白领工人，在高风险的环境里操作大型、复杂的系统。他们又像手工艺人，不仅要靠手工技术养家糊口，还一起成立了工会组织。

我们对机组成员称呼的变化，表明他们的任务正在发生调整。20世纪30年代，美国泛美航空公司用“机长”和“副机长”分别取代“飞机驾驶员”和“飞机副驾驶员”的称谓，并要求他们穿上制服，利用已经得到认可的社会角色，给人一种自信心和权威性的心理暗示。后来，这些称谓又演变成“操控飞机的飞行员”和“不操控飞机的飞行员”，这是因为机长未必是正在驾驶飞机的那个人（或者就像法航447号航班一样，机长甚至不一定待在驾驶舱里）。现在，美国联邦航空管理局建议将这两个称谓改为“操控飞机的飞行员”和“监控飞行的飞行员”，旨在为他们所发挥的作用赋予积极正面的称谓，表明两名飞行员都在参与飞行任务，无论他们是否亲手操控飞行装置。（在这些语境中，“操控飞机”常常表示亲手操作控制装置，尽管这个词还有许多其他含义。）

发生变化的不仅仅是这些称谓。在研究飞行员角色的当前变化时，我们发现了一个显著的区别：驾驶舱里的“第三个人”，即随机工程师这个角色，已经彻底消失了。20世纪20年代，民航飞机驾驶舱里只有两名飞行员。随着航空业的发展，飞行距离越来越远，有的飞行目的地由于基础设施不齐备，没有办法提供飞机维修服务，因此航空公司开始在航班上配备有执照的机修工，以便在飞机着陆后开展维修活动。后来，螺旋桨飞机逐渐变成双引擎、三引擎和四引擎飞机，每增加一个引擎，就会成倍地增加仪表盘和控制装置的数量。因此，单

单是飞机引擎的管理，就成了飞行操作的一项主要内容，随机工程师也演变成一个专门的职业。

第二次世界大战之后，美国政府要求32 000千克以上的民航飞机（今天的大型飞机大多被包括在内）必须配备专业的随机工程师。具有讽刺意味的是，在这一规则付诸实施的时候，包括DC–6在内的某些机型已经设计完成，驾驶舱内的标配是两名飞行员。而根据这个规则，驾驶舱里必须配备三个人，即便第三个人无所事事。于是，“第三个人”就只能坐在两名飞行员之间的活动座椅上，帮助他们观察是否有意外情况发生。

飞行员和随机工程师之间一度矛盾不断。于是，航空公司逐渐改变做法，安排专业的飞行员坐到第三个座位上，而且飞行员工会组织拒绝接受随机工程师的入会要求。随机工程师针对这些情况予以回击，他们指出在飞行的绝大部分时间里，飞行员无所事事。在美国国会的听证会上，随机工程师出示了一些照片，证明飞行员在飞行时看报纸、睡觉，甚至与坐在他们大腿上的女性乘务员调情。

这时候，技术再一次改变了人们的角色和相互关系。20世纪50年代末，喷气发动机开始出现在民航飞机上。这种发动机大大简化了机械和控制装置，于是“大量手柄、标度盘和仪表从驾驶舱中消失了”。英国航空公司飞行员协会的一项研究发现，“即使在飞行中需要用到专业性机修技能，出现这种需求的可能性也非常小”。制造商认为，波音707飞机和道格拉斯DC–8飞机等第一代喷气式飞机可以由两名飞行员安全地完成飞行工作，但是美国联邦航空管理局却要求他们必须安排第三个人（与波音707几乎完全相同的军方版本——KC–135空中加油机上就没有配备随机工程师）。关于第三个人是否可以提高飞行安全性的统计研究，最后没有得出任何实质性结论。

1980年，美国总统罗纳德·里根指派一个委员会来研究这个问题。该委员会最后断定，由两名飞行员驾驶喷气式飞机是安全的，第三个

人不会提升飞行安全性。同时他们还认为，新型波音757飞机和当时仍处在计划阶段的空客A–310飞机的“玻璃”驾驶舱装有计算机，因此只安排两名飞行员驾驶飞机是非常安全的。后来，在人们对新式电子元器件的态度由抵制转为期待之后，这条32 000千克的规则终于被废止了。

令人吃惊的是，驾驶舱中的第三个人这件事与现代飞行员竟然存在着某种联系。在随机工程师彻底离开驾驶舱之前，飞行员经常面临的一些难题（例如，克雷斯皮尼无法解决驾驶舱复杂系统出现的故障）都是需要由这些工程师解决的问题。一度是驾驶舱里人与人（飞行员和工程师）之间的矛盾，现在变成了人与计算机之间的矛盾。

然而，如果我们想一想“人在其中扮演什么角色？”这个问题，就会发现每台计算机实际上都体现了人在其中发挥的作用。人与人之间难免会有矛盾产生，同样，人作用于这些电脑的努力不被看见他们之间也必然有冲突发生。驾驶舱里的那些设备与标度盘通常来自不同的供应方，编写程序的也是不同的软件团队，但这些设备与标度盘必须构成一个系统，协同工作。

德雷珀采用“instruments”（仪器）这个词，目的是让人们联想到科学，但是这个词还可以用在音乐上，表示“乐器”。从这个意义上讲，飞行员就像一个乐队指挥，通过消除乐队成员在合作过程中不断发生的各种无法预见的错误，让所有乐器协同演奏出美妙的音乐。在乐队中添加新的乐器可能会让演奏出来的音乐有所不同，指挥的工作难道也会因此而不同吗?

为了给本书收集写作资料，我采访了一些飞行员。我问他们：“自从业以来，你认为飞行这个领域发生的最显著的变化是什么？”我原以为他们会提到计算机或者自动化，但大多数飞行员的答案都是他们需要承担的责任（尤其是飞机起飞前他们需要履行的职责）增加了。以前，飞行员径直走向飞机，稍加检查就可以坐进驾驶舱，准备起飞，

因为专职的地勤人员肯定会将加油、补给以及其他地勤服务工作安排得井井有条。

但是现在，航空公司通常会裁减这些工作岗位，让飞行员在发动引擎之前承担更多的责任。飞行员抱怨道：“我们的工作量增加了，飞行任务变重了，每天的工作时间也长了。”寻常的技术也对这些变化起到了推波助澜的作用。现在，每个驾驶舱里都安装了有专用号码的移动电话。飞行员需要联系负责维修、调度等航空服务的人员，工作的自主性有所降低。这些飞行员告诉我：“你的耳边不停地有人说话。有5个人通过电话呼叫你：登机口在呼叫你，飞行值班经理在呼叫你，航空公司也在呼叫你……‘发生什么事了？’‘你需要多长时间？’‘有人在吗？’……”

在系好安全带、启动飞机引擎之前，飞行员早已进入了工作状态。等到飞机升空之后，他们还需要完成更多的任务，包括消除噪声、控制燃料效率、向登机口和空中交通管制台报告飞行速度等。想一想我们近几年来乘飞机旅行的感受有何不同，就能体会到航班机组人员的工作发生了哪些变化。

尽管飞机驾驶舱处在一个极端环境之中，但正是在这样的工作场所中，强烈的职业认同感遭遇了技术的快速变化，空中飞行的自主性遭遇了空中交通系统对经济效益的追求，飞行员必须在政府的高度管制之下履行各项责任。在考虑航班上的自动化与技术等问题时，我们必须把它们放到一个不断变化的环境之中加以思考。与柏瑞尔·马卡姆以及罗伯特·巴克相比，那些按照紫红色航线飞行的年轻飞行员所处的飞行环境大不一样。在飞机着陆这样的关键时刻，这些因素常常同时发挥着影响作用。

每一次飞行就是一个故事，而着陆是这个故事的高潮部分，也是飞行技术的高度体现。实习飞行员最难学会的就是着陆技术，优秀飞

行员也以每次着陆都趋于完美作为挑战。在天气不好时，安全着陆的难度更大。

在天气不好或者能见度较低的情况下，飞行就需要依靠仪表。飞行员低着头，盯着那一排排发光的标度盘和数字，了解他们在空中的位置、飞机的飞行状态和他们的操作效果。训练中禁止在其他飞行阶段发生的行为，在着陆过程中都会一一发生：低空慢速飞行，靠近地面飞行，飞行时看不见任何目标。

在航班降落的过程中，你朝窗外看去，除了白色的云层你什么也看不到。与此同时，你感觉到飞机放下了起落架，发动机开始减速，在飞机接触跑道的那一刻，坚实的地面一下子就出现在你的眼前。这时候，你会对“决断高度”（minimums）概念有所体会。

在多云或阴天降落时，飞行员会透过窗户寻找地面跑道的标志：闪闪发光的频闪仪，黑色路面，或者成特殊十字形排列的地灯（飞行员用肉眼观察时，这些地灯的排列图案与他们先前看到的仪表盘十分相似）。只要看到其中任意一种，飞行员就可以建立目视参考，根据肉眼的观察结果，采取视觉着陆的方式。

通常，能见度为1/4英里（约400米）的决断高度是距离跑道约200英尺（约60米）。如果低于这个高度还看不清跑道环境，那么飞机着陆是不合规的，也是不安全的。此时，飞行员应该加大油门，将飞机拉起，再次尝试着陆，或者飞至其他机场降落。接近决断高度时的进近需要飞行员的自信心与经验，精密并且调整好的仪表，以及飞行员对整个系统（包括准确无误的程序、保养得当的设备、称职能干的空中交通管制）的充分信任。对于乘客而言，在这样的条件下成功着陆意味着我们在阴雨天气也敢乘坐飞机；对于航空公司而言，则意味着一大笔收入。

飞机在着陆时采用的仪表着陆系统（ILS）通常包括一束从跑道发射的无线电射线（提供左/右误差信号，即航向信标）和一束垂直射线（即无线电下滑台）。这套系统在20世纪50年代前就已经投入使用，在飞行员看见跑道之前，可以帮助飞机沿着射线束下降至约60米的高度。这就是所谓的I类着陆（业内简称“CAT I”）。如果采用更先进的设备进行更精密的操作，例如利用雷达测高计直接探测地面，那么飞行员可以将飞机降至约30米的高度，完成II类着陆。

在进行更精密的III类着陆时，决断高度更低，以至于人类飞行员无法独自做出决定，而要依靠某种形式的自主驾驶。III类着陆进一步细分为III（a）类和III（b）类，决断高度分别是15~30米和0~15米。III（c）类着陆用于“零–零”条件，即能见度为零、云幂高度为零的情况，此时视野里白茫茫一片。III（c）类着陆没有决断高度。尽管某些飞机（以及非常少的几家机场）通过了认证，可以在这种天气条件下着陆。但是，由于飞机着陆后无法脱离跑道，因此这种着陆方式在实践中很少应用。着陆类别之间的差别非常细微，可能难以理解。在阅读本书时，我们只需记住一点：III类着陆的难度极大。

在完成III类着陆时，飞行员可以选用的一个工具是自动着陆系统。20世纪60年代，这套系统的操作性首先在北欧臻至成熟。英国航空公司发现，该公司在航空枢纽伦敦希思罗机场的航班有7%受到了大雾影响。在能见度为零时，通过常规仪表着陆系统的无线电波束和机载惯性制导系统，自动着陆系统可以使飞机在跑道上方自动抬起机头（即让飞机滑行），然后向自动制动系统发出指令，让飞机停止滑行，从而完成着陆。标准仪表着陆系统可以帮助飞行员把飞机降至600米的高度再做出是否着陆的决定，而自动着陆系统可以实现的高度是零，即完成III（c）类着陆。20世纪80年代，飞行员理查德·柯林斯在试用自动着陆系统之后写道：“看！不用手动控制！”

自动着陆系统似乎非常完美，可以在着陆条件非常差的时候成为人类飞行员的后援。现在，自动着陆系统是大多数波音飞机和空客飞机的标配（对于装有数字化电传飞行控制系统的飞机而言，在已有系统和软件的基础上添加自动着陆系统相对来说比较简单）。

不过，自动着陆系统名不副实，操作起来可能非常复杂。该系统不仅需要针对不同的电气系统准备两三套冗余的自主驾驶仪，还会受到风力和无效设备的影响。只当所有设备在适度逆风和阵风条件下运行良好时，自动着陆系统才能发挥作用。此外，安装自动着陆系统不仅仅是在飞机上加装一个盒子那么简单，还要求地面基础设施有良好的操作性，机组人员甚至航空公司的相关人员都要接受培训，并得到相关认证。在美国，大风天气常常伴随能见度较低的问题，导致自动着陆系统无用武之地。但是，在风速不高的大雾天或者多云天气，即使在最难的"零–零"条件下，有无自动着陆系统也有可能仅意味着进场和备降的区别。

同其他自动化驾驶系统一样，自动着陆系统也不能完全取代机组人员。首先，必须由人判断何时打开这套系统。柯林斯说："机长负责监控和决策，他虽参与飞行过程，但享有超然的地位。"接受过专门训练的机组人员需要完成系统启动工作，注意观察是否有故障发生，在出现问题时还要从系统那里接管控制权。即使在自动着陆系统操控飞机时，机组人员可能也会把手放在控制装置上，以便在系统发生故障时及时介入。理查德·克雷斯皮尼在回忆他驾驶的那架波音747飞机上的自动着陆系统时说，那是一套"质量比较差的机械设备，里面有大量伺服系统和作动筒，性能与可靠性都比较一般，而且需要定期检查"。

现代自动着陆系统是数字式的，性能可靠，安装在一个盒子里。但是，如果它在着陆的关键时刻发生故障，飞行员就必须完成一系列的逻辑推理，然后选择一套操控动作，诸如手动着陆、指令式自动复飞或人工复飞。由于自动着陆系统需要地基系统具有极高的精度，因

此跑道及邻近滑行道上的东西必须被清空，不可停有飞机。这就意味着采用自动着陆方式之后，机场吞吐量有可能会下降50%之多。至少有一家航空公司发现，只有大约2%的飞行员采用的是自动着陆方式，而且这些飞行员这样做的主要目的是让机组人员和设备满足认证的最低要求。

但是，自动着陆系统的精密性和安全性值得称道。柯林斯发现，自动着陆系统实际上还会提高人类飞行员的操作技能。他说：“观看自动着陆系统的精密操作足以触动所有飞行员，让他们萌生与这种计算机控制的机电装置一较高下的念头。”他认为，观看这套系统的操作就是给飞行员上了“一堂着陆观摩课”。但是，2013年美国联邦航空管理局的自主驾驶调查工作组称：“要求或允许自动着陆的情况很少发生，而且在通常情况下飞行员宁愿选择手动着陆。”

自动着陆最终有可能会催生未来的全自动无人驾驶飞机。但是，正如我们在深海机器人领域看到的情况一样，这些技术也不一定会实现由有人驾驶到自主驾驶的线性演变。现在，人们提出的另外一些方案可以让人类飞行员更深入地融入控制链路。例如，平视显示器（HUD）将计算机生成的虚拟世界与飞行员的肉眼目视结果结合起来，使人与计算机协同，产生“1+1 > 2”的效果。

我们有必要对平视显示器详加研究，因为它为解决飞行员的角色定位问题提供了一个新的、有益的方法，揭示了如何让人参与到更新、更复杂的技术当中，并承担自动化程度稍低、限制条件更严格的任务。

在一个晴朗的春日，我登上了一架崭新的巴西航空公司开发的Embraer 190系列商业喷气式飞机，坐在正副飞行员中间正后方的活动座椅上。我们沿着阿尔卑斯山脉北部边缘向西飞行，穿过德国，前往瑞士日内瓦。从28 000英尺（约8 500米）的高空看到的景色的确美不胜收，令人难以忘怀。我们从新天鹅堡上方飞过，这座以迪士尼城堡

为原型的城堡坐落在山脚下，散发着梦幻般的光。然后，我们又飞过黑林山，越过“兴登堡”号飞艇的建造地——康斯坦茨湖。之后，勃朗峰出现在我们的视野里。

Embraer客机是一架双引擎飞机，与波音和空客的跨洋飞机比较像，只不过体积稍小。这是一架具备现代便利性和安全性的支线飞机，为短途旅程定制，用以取代较老的喷气式飞机和螺旋桨飞机。



图3–1 在一架飞越阿尔卑斯山前往维也纳的飞机上，机长正在使用平视显示器。请注意，照片中的玻璃“合成仪”将平视数据影像呈现在飞行员的眼前
图片来源：本书作者。

我们乘坐的是一架电传飞行的飞机，正在以全数字控制模式飞行。在机组人员面前有5个本书页面大小的电脑屏幕，左右各有两个，中间还有一个。每名机组人员在中央控制台都有一个键区，可以向飞行管理计算机以及两个引擎共享的两个油门输入数据。每名飞行员都有一个控制杆，控制杆的手柄呈海鸥翅膀的形状，这是巴西航空工业公司的注册商标。昔日，令人眼花缭乱的标度盘和指示器如今已经不见了，驾驶舱看起来十分简洁，就像现代的办公室一样，这显然是精心设计的结果。

时间已经很晚了，飞行员也累了。在我们准备降落在日内瓦国际机场之前，乘务员送来一些小蛋糕，让我们充饥，为最后的着陆储备能量。飞行员系上安全带，为降落做好准备。

但是，在飞机沿着无线电波束降低高度完成进近时，飞行员既没有坐在那儿监视自主驾驶仪，也没有打开自动着陆系统，而是采用手动飞行模式。他的双眼紧紧盯着从头顶上垂下来、悬挂在他眼前的一小块玻璃。在他的视线投向这块玻璃时，空速、高度等重要数据出现在他视野的周边位置。在他视野的中心区，一幅闪着绿光的电脑图片显示出跑道的轮廓。今天的能见度不错，他能清楚地看到跑道。如果遇上恶劣天气，虚拟的跑道就会“冲破”浓雾，让飞行员像在正常天气条件下一样看清地面情况。

显示屏上有一个飞机形状的小符号，这就是所谓的“飞行航径矢量”，它可以告诉飞行员飞机正在往哪里飞。另外，还有一个圆形的小标志，这是“引导提示”，告诉飞行员应该往哪里飞。飞行员通过手里的操纵杆操控飞行，让这两个标志始终重叠在一起。在我们平稳地接近跑道时，引导提示由圆形变成十字形，并向上移动。飞行员将操纵杆向后拉，让飞行航径矢量的标志始终处于引导提示的正中间，使飞机一边减速，一边拉平。随后，飞机轻轻地接触到了跑道，这是一次几乎完美的着陆。飞行员的全部工作就是让那两个绿色的图标重叠，从而保证顺利着陆。即使机场大雾弥漫，跑道模糊不清，飞行员的操作也不会有任何不同。



图3–2 飞机进近时透过现代化平视显示器观察到的结果。注意观察飞行航径矢量与引导提示对齐的情况。图中虚线表示的是恰当的下降角。图下方是传统的“玻璃驾驶舱”中的主飞行显示器
图片来源：本书作者在飞行模拟器中拍摄

平视显示器于第二次世界大战期间开始被应用到军用飞机上，距今已经有很长一段时间了。当时，这种装置的用途是射击瞄准具，在瞄准目标时可以为飞行员提供一个自动修正的十字瞄准线。在现代战斗机上，这种装置已经变成了高级瞄准具，既可以提供重要的飞行数据、识别雷达目标，还可以辅助飞行员瞄准射击。

20世纪80年代，平视显示器开始出现在民航飞机上。最初的平视显示器可以显示仪表给出的飞行数据（空速、高度等），使飞行员在交通繁忙的机场和着陆的关键阶段无须低头读取这些数据。这些装置（包括现民航飞机仍然在使用的许多类似装置）的视野比较狭窄，因此飞行员必须精确地坐到某个位置上，然后透过一个很小的视窗进行观察。这样的位置常常让飞行员受到束缚，感觉非常不舒服。

新型的平视显示器加大了显示屏的尺寸，而且是正形投影。也就是说，如果飞行员把头部调整到合适的位置（可以根据仪表面板上的

一组固定标志让视线对准显示器），平视显示器上的图像就会与目标在真实世界里的位置相重合。例如，如果飞行员在能见度较差的天气着陆，平视显示器可以利用绿色的电脑图形向量绘制出跑道的轮廓。随着飞机的进近，跑道的形状逐渐变大，当跑道最终从云雾中露出真面目时，就正好出现在图形向量的绿色方框中。

后来，平视显示器终于得到美国联邦航空管理局和欧洲权威部门的认证，允许用于III类着陆。在飞行员工会组织中居于龙头地位的美国航空公司飞行员协会认为，平视显示器的效果优于自动着陆系统，并对此表示支持。阿拉斯加航空公司的航班在进入朱诺机场时，进近的难度比较大，因此他们率先使用了平视显示器。同时，一家名叫莫里斯航空的小型航空公司也开始试用这套系统。1992年，美国西南航空公司收购了莫里斯航空公司，并开始在公司的很多飞机上使用平视显示器。飞行员逐渐习惯于在低能见度的条件下依靠平视显示器完成着陆，因此他们有时候会忽略或者关掉自动着陆系统。

现在的平视显示器自带导引算法，可以获取导航数据，自行预测出飞机的前进方向并显示在显示器上。飞行航径矢量图标包含了计算机了解的所有飞行数据，比如风速、惯性和引擎的功率设定等。飞行员可以通过控制装置调整飞行航径矢量（从而调整飞机的航向）。如果飞行员将飞行航径矢量放置于跑道末端，并对齐航径矢量与引导提示这两个标志，飞机就会朝那个点飞去。如果飞机当时的速度和高度都合适，飞行员只需从容地输入少量数据，飞机就可以平稳着陆。手动操控飞行由一种精细微妙的技能转变为一项“让两个小东西重叠”的视觉任务。

平视显示器还会显示出一些类似于“示误带”功能的图标，帮助飞行员保持合适的速度和加速度。通过传统的飞行仪表，飞行员可以看到空速、高度和垂直方向速度等数据，但是飞行员需要通过心算才能知道飞机是不是保持在正确的航径上。与之不同的是，平视显示器则

可以帮助飞行员直接看到飞机的“能态”（energy state），可以回答“动力是否足以将飞机送进跑道？”这样的问题。显示器上的各种指示可以针对细微的差错做出快速、准确的反应，使飞行员在酿成大错之前就做出修正。

前文提到的另一种标志——引导提示，可以告诉飞行员应该将飞行航径矢量放在什么位置。飞行员需要完成的工作就是操纵控制装置，“让两个小东西重叠”，在引导提示和飞行航径矢量的指引下，让飞机沿着正确的航径飞行。

这些新式数字合成仪表让飞行员慢慢地产生了其他想法。他们认为，平视显示器的用途有可能不仅限于实现低能见度着陆。一位平视显示工程师回忆道：“飞行员们说，‘哎呀，既然它有这种用途，你们稍加改变，把它做成类似主飞行显示器我就可以一直用它了。’”

在接受我采访的飞行员当中，有几个人所在的航空公司（以下称“欧航”）在为新的Embraer喷气式机队配备设备时，准备放弃自动着陆系统，而代之以平视显示器。有些飞行员驾驶的飞机上装有老式平视显示器，还有一些人的飞机装备有自动着陆系统，因此，航空公司在新的喷气式飞机到底应该如何选择的问题上自然而然地形成了两种不同的意见。

飞行员与他们驾驶的飞机朝夕相处，我很少发现飞行员对他们的工作环境提出批评意见。总的说来，他们都会心平气和地接受公司分派给他们的飞机，在实际飞行中也能充分发挥这些飞机的特点。同样，飞行员在被安排进行新型飞机驾驶培训时，也不大可能提出不同的意见。对航空公司而言，Embraer飞机代表的是未来的电传飞行控制技术，如果飞行员拒不接受，只能说明他们愚不可及。考虑到经济不稳定性以及航空公司在未来可能面临的兼并问题，有些飞行员甚至认为，在Embraer飞机上接受培训可以为就业安全增添砝码。不过，仍然

有一些飞行员坦承，他们在是否放弃自动着陆系统的问题上还是拿不定主意。

按照正式规定，自动着陆系统需要飞行员投入的注意力不比手动操作多，但飞行员承认在实际应用时并不总是如此。几乎所有飞行员都提到了漫长的工作时间和挥之不去的疲惫感："在早晨着陆时，如果我们感到疲劳，就会采用自动着陆系统。如果你有5条腿，你就可以连续飞行10个小时，甚至12个小时，因为你有第五条腿——III类进近……这时候，你就知道自动着陆系统真的很管用了。"但是，如果因为过于疲劳而无法手动飞行，那么这样的疲劳程度也有可能让飞行员无法对自动着陆系统实施有效的监控。

以前用过平视显示器的飞行员，也不一定会迫切希望在Embraer飞机上安装这种显示器。他们惯用的老式显示器上有一个很小的"合成仪"（飞行员视线穿过的那个玻璃窗口）。为了使用这个小窗口，他们必须坐到一个很不舒服的位置上。而且，平视显示器主要用于III类着陆，也就是说，"最终造成的结果是，我们在最恶劣的天气条件下，坐在一个十分不舒服的位置上，很不熟练地使用这套系统"。

Embraer飞机上安装的平视显示器有两个重要创新。第一个创新在上文中提到过：新式的合成仪比以前的大，飞行员坐在舒适的位置上就可以使用。第二个创新可能更加重要：老式系统仅为飞行员提供了平视显示器，而新式Embraer飞机则为正副飞行员各准备了一套。这个简单的变化，尽管导致成本上涨了一倍，却为机组人员接受这套系统起到了重要的影响作用。

托马斯支持在航班上安装平视显示器，但他发现经常有人用一种旧观点反驳他，即"平视显示器的适用对象是配置较差、无法完成III类着陆的支线飞机"。于是，他换了一套说辞，不再强调平视显示器是解决低能见度条件下的着陆问题的工具，而是把它形容成"可以让飞行员重新做到人机合一……保证飞行安全的一大利器"。飞行员们普遍认为

空客飞机的自动化程度过高，很显然，托马斯的这套说辞利用了飞行员们的这种心理。

此时，制造商看到了类似的发展机会，因此对托马斯提供了支援。航空公司购买平视显示器的初衷是用于低能见度条件下的进近，但最终却将该装置应用在其他方面。美国的平视显示器制造商（以下称“平视公司”）发现，III类着陆对于提升业务量的作用十分有限。美国只有大约12个机场得到了III类进近的认证，因此市场应用范围非常窄。如果飞行员不愿意使用平视显示器，就可以将它翻上去贴着天花板。但是平视公司发现，飞行员们全程都在使用这些显示器。航空公司说：“每架飞机上安装两套。飞行员在飞行时可以不使用它，但他可以随时了解飞行的情况。”因此，平视显示器的业务量上涨了一倍。

在接受我的采访时，汉克已经60多岁了，正准备从平视公司退休。他本人有数学和统计学背景，曾经帮助美国联邦航空管理局完成了一些重要研究，以证明平视显示器的安全性。通过比较上千例使用平视显示器和不使用平视显示器的飞机着陆，他发现“（问题就在于）机尾触地、碰撞着陆这类常见的愚蠢错误，于是我调查了起落架、轮胎等部件的维修率”。通过询问顾客和维修人员，他发现“真正的原因在于他们在飞机上安装了平视显示器，这个举措降低了飞机的（维修）成本”。对于一个大型航空公司来说，每年仅此一项就有可能节省几百万美元。

更柔和、更标准的着陆可以降低维修成本，减少轮胎磨损和机尾触地（飞机的尾部蹭在跑道上）的发生率。此外，汉克还发现飞行员在所有天气条件下都会使用平视显示器。因为对于平视显示器而言，无论是天气条件良好，还是能见度低，它的操作程序都是一样的，所以“飞行员每天都好像在进行低能见度条件下的飞行，他们对这套系统的信任程度也不断加强”。这种信任表现在，人认为机器的行为是可预测、可信赖的。

有的航空公司没有III类着陆能力，但它们也订购了平视显示器。汉克认为这个现象比较奇怪，因为在他看来，平视显示器的特别之处就在于它可以用于III类着陆。但是，航空公司的目的比较简单，它们希望帮助飞行员更好地了解情况。飞行员反映说："我从窗口看出去，就可以知道当时的情况。如果我的方向与目标不一致，飞行航径（矢量）就会提醒我。"

汉克补充说："多年以来，我一直没想到会出现这种情况。直到现在，我仍然感到有点儿吃惊。"自动化技术经常被人们以创新的方式加以应用，同样的一幕在平视显示器身上上演了。

汉克比较了平视显示器与自动着陆系统这两种着陆方式，并获得了一些统计数据。他说："平视显示器着陆方式的效果好得惊人。我们发现，它的效果至少不亚于自动着陆系统，有人甚至认为它的效果更好。"不过，平视公司非常谨慎，不愿意激怒那些装有自动着陆系统的大型飞机的制造商，因此他们没有公开这次研究。

汉克认为："自动着陆系统的表现有时候非常突兀，令人难以理解。（原因在于）这是一套自动化系统。"例如，在突然遭遇阵风或者湍流时，"自动着陆系统的反应与人在同样情况下的反应迥然不同……在遭遇湍流时，自动着陆系统很有可能把飞机降落到草坪上"。

汉克发现飞行员不信任自动着陆系统："他们无法了解系统的运行机制。飞机在'这个家伙'的控制之下，我无法了解它的飞行状况。"汉克还发现，在安装了平视显示器之后，"这些飞行员就会这样想，'这下好了，飞机的操控权又回到了我的手中'"。因此，有的客户舍弃了自动着陆系统，代之以平视显示器。

于是，汉克认为平视显示器不是一种"纯粹"的自动着陆方式，而是一种混合型自动化着陆方式。在客户们也开始持有这种观点之后，"他们对平视显示器的信任程度似乎有了一次飞跃，这是一个对我

们有利的变化……公司里的飞行员说，‘与自动着陆系统相比，我宁愿要平视显示器，因为我可以了解飞行的状况’”。一位工程师把平视显示器形容为传统飞行显示器与自动着陆系统的混合体，“最重要的一点是去掉了作动筒，或者说让人充当作动筒”。

30年前，理查德·柯林斯认为，观察自动着陆系统标准、精确的着陆过程有助于提高飞行员的技术水平。现在，人们对平视显示器抱持同样的观点，认为平视显示器可以让飞行员回到“控制链路”当中，亲自参与飞行过程。通过亲身体验，而不仅仅是观看示范表演，提高他们的飞行技能。一些飞行员说：“这才是我心目中飞行员应该做的事情。”

一些数据表明，平视显示器可以缓解飞行员在关键飞行阶段的压力和紧张情绪。一项研究发现，在关键时刻，使用自动着陆系统的飞行员会产生十分强烈的紧张情绪。与之相比，总的来说，平视显示器带给飞行员的压力更大，但在着陆时出现压力陡增的情况比较少。

50多岁的汤姆是美国联邦航空管理局的工作人员，他的职责是审查并授予飞行员驾驶大型喷气式飞机的资格。作为一名高度自动化飞机的飞行教练，汤姆认为飞行员们有过度依赖计算机、低头看仪表的时间过多、“实际飞行”的时间不足等问题。汤姆认为，平视显示器是解决这些问题的关键一环：“这是起过渡作用的一个步骤，而且这个步骤之前就应该有了。我不是说它是自动化进程中的一个退步，而是说我们在自动化这个方面（前进的）幅度太大了，留下了一个需要弥补的空缺。”有人认为，以某种方式将人排除在外从本质上看是更先进的工作方式。但在汤姆看来，这是一种错误的自动化发展观，而平视显示器可以消除因此产生的影响。

美国航空公司的飞行教练约翰（他的飞机上也装有两套平视显示器）更加看好平视显示器，认为这是“一种与飞机互动，特别是在视觉

环境中互动的新方式”。他相信，在驾驶装有平视显示器的飞机时，飞行员的操作更加流畅平稳，警觉度更高。

支持平视显示器的欧航工作人员托马斯认为，平视显示器代表着一次意义深远的转变：“我们正在逐步启用一种利用飞行航径和能量的飞行方式。”传统的飞行方式需要“俯仰角和动力”，每一项操作都需要根据预设，确定机头的俯仰角和引擎的动力设定，之后飞机就会有条不紊地飞行（法航机组人员对飞机失去控制可能就是因为采用了这种飞行方式）。使用平视显示器的飞行则与之不同。在这种飞行方式下，飞行员利用飞行航径矢量和能量矢量操控飞机，托马斯称为利用航径矢量和能量矢量的新飞行方式。数据显示器发生变化，就会导致飞行所需要的技能发生变化，从而将飞行任务交回给一直盯着显示器的那个人——飞行员。另外一名飞行员说：“由于平视显示器提供的核心信息是飞行航径，因此我们的大脑从中获取的所有信息与提示，就会以这样或者那样的方式加强我们的感官接收到的提示。”

不过，很难说平视显示器在安全方面做出的最重要的贡献到底是什么。在飞机从云雾中下降、冲向跑道时，飞行员不用一会儿“低头”看仪表、一会儿“抬头”寻找跑道灯，不需要在脑海里费劲儿地完成仪表读数与跑道目测结果之间的转换。事实证明，这种转换过程有可能造成危险。与此同时，在安装平视显示器之后，无论是在晴好的天气还是在大大增加了着陆难度的雨雾天气里，所有的着陆都会遵循完全相同的程序。对飞机能态的实时监控，可以迅速表明飞机是否高于或者低于应有的高度。因此，飞行员能够通过手动操控完成III类进近。

通过亲自观察，我发现飞行员在利用平视显示器飞行时往往心无旁骛，专注程度与那些与他人说话时只顾低头盯着智能手机屏幕的人差不多。因此，如果坐在副飞行员座位上的人无法看到平视显示器数据，他就无法了解飞机的飞行情况，这种信息的缺失有可能让他产生

一种置身事外的感觉。信息分配的不均衡会加剧正副飞行员之间本来就存在的权利不平衡。如果飞机上只安装一台平视显示器，那么副飞行员只能通过传统的仪表与飞行系统监控飞行情况，获取的相关信息就比较少。如果装有两套平视显示器，正副飞行员就都能获取所有信息，从而相互核实对方的操作是否得当。

平视显示器带来的一个实际好处是，帮助飞行员每天都以相同的方式完成所有进近。飞行员不需要在I类至III类操作程序之间切换，因此所需设备大幅减少，对操作、维护和技能的要求也相应降低。一名飞行员说："一段时间之后，你甚至不会在意是不是III类着陆……因为每次着陆的程序都一样，而且可以舒舒服服地完成。"另外一名飞行员说："平视显示器让飞行操控更加精确，它可以把飞行轨迹直接展现在你眼前。"

飞行员适应平视显示器的过程分为几个阶段。刚开始训练时，他们的眼睛只顾盯着平视显示器上的数据，而无暇顾及窗户外面的情况，有人称为"视野狭隘"。用一位飞行员的话来说，"平视显示器的焦点无限远，而你的注意力焦点很有可能就在你眼前7.5毫米的地方。"不过，在接受训练之后，他们逐渐学会了接受显示器上显示的所有数据，并将这些数据与目视结果结合起来，形成一个整体。一位使用过平视显示器的飞行员说："我发现看仪表数据是一种有意识的行为，但是读取平视显示器上的数据却不是这样。我知道我在不停地看平视显示器，但这并不是一种有意识的行为。"整个适应过程有可能需要6个月到1年的常规飞行训练。

当然，依赖新设备的新技能往往会让飞行员产生焦虑心理，担心如果没有平面显示器自己就不会飞行，从而形成"平视显示器依赖症"。有的飞行员建议定期关闭平视显示器，采用目视方式完成飞机的进近，以保持自己的飞行水平。

还有一些飞行员坚持不用平视显示器。一位飞行教练回忆说，有位飞行员觉得平视显示器总在指责他的技术而把它称作“杵在你眼前的那个没用的小东西”。有位飞行员认为，航空公司与其把钱花在技术革新上，还不如把这笔钱发给飞行员。“省下这笔钱，给我涨工资吧……我以前不需要它，现在同样不需要它，难道不是吗？”另一位飞行员的回答非常简单：“我不信任它。”（对于这样的回答，一位工程师可能会问：“那么，你为什么信任自主驾驶系统呢？”）

更常见的反对理由是：这套系统的实用性不强。一位飞行员说，关掉平视显示器时，“我的感觉就像脱掉了一件紧身T恤”，只不过前者是对视线的限制，后者让我的身体感到不舒服。一些人认为“安装一个也好”，但并没有把平视显示器看作可以解决一切危险问题的灵丹妙药。有的飞行员对航空公司要求在飞行时全程使用平视显示器的做法表示反对。我注意到有的飞行员通过一些“小动作”进行消极抵抗。航空公司可以监测到平视显示器是否在飞行全程中处于打开状态，但无法监测显示器的亮度。飞行员只需将亮度调为零，就可以在不被管理人员察觉的前提下让平视显示器失去效用。

尽管情况非常复杂——人们观点各异，莫衷一是——但几乎所有接受我采访的飞行员都承认，平视显示器给他们带来了一些好处，例如，给了他们“一个主动控制者的地位”，使他们“参与到控制链路之中”。有人觉得，通过使用平视显示器，他们手动飞行的技术有了提高。“我以前是一名优秀的飞行员，现在则是一名了不起的飞行员。”还有一位飞行员说：“这项技术进步真的可以提高飞行员手动操控飞机的技术和信心。”人们经常将平视显示器给飞行员带来的掌控力与自动化程度更高的飞机放在一起进行对比：“因此，计算机也在监控我们。这跟空中客车不一样。大家都知道空中客车的飞行员在飞机失事前最后一刻常说的几句话：‘它在干什么，不起作用了，轰——！’在这里，还是我们说了算。我们可以否定计算机的指令，但是，它对我们还是有帮助的。”

这种掌控力必不可少地带有讽刺意味。很显然，平视显示器不会帮助飞行员摆脱对电脑的依赖，飞行员仍然离不开预先设置好的程序系统。一名试飞员说的话很有道理："按照飞行航径矢量的指示飞行，意味着对软件的完全信任。"不过，软件只不过生成一些指令，不会真的推拉飞行操纵面（仍然有人认为控制操纵面就是"驾驶飞机"），因此飞行员可以筛选软件提供的数据，提高软件输出信息的质量，从而更主动地参与到飞行之中。

的确，飞行员将部分控制权拱手相让，与平视显示器制造商共享，因此，我花了一些时间，同这些"机器中的技术幽灵"进行了交谈。平视公司一共有几百名员工，包括市场营销、生产制造和质量控制人员。但是，它的核心技术团队只有大约15人，其中有几个人是飞行员，工程师和程序员占了绝大多数。

比如，玛丽以前在电视行业工作，后来加入了平视公司。习惯了五颜六色的电视画面，而平视显示器总显示出单一的绿色，这让她有点儿生气。"幸亏电视机不需要在天上飞行。电视机摔到地上，几乎不会造成人身事故，也没有人会指控你。"事实上，自从20世纪80年代的平视显示器采用绿色电子射线管以来，这个状况就一直没有变化。美国联邦航空管理局规定，黄色、红色等颜色只能用于发警报，而幻彩发光绿似乎是自然环境中比较罕见的颜色。

约翰喜欢在闲暇时间玩电脑游戏，某些游戏的界面对他的工作产生了某种影响。他说："有些游戏通过界面告诉你一些信息，这与平视显示器非常相似。这些信息既要让你看到，又不能挡住你看游戏场景的视线，因此只能被放在屏幕的边上。这个发现对我很有启发性。"

平视公司的一些工程师觉得，在飞机着陆时，他们实际上是与飞行员一同操控飞机。一位工程师认为，在他作为一名乘客搭乘飞机时，他可以根据自己在飞机着陆时的感觉判断飞行员是否在使用平视显示器。

在所有指示符当中，引导提示和飞行航径矢量的信息量最大，也最重要。电气工程师鲍勃负责通过模拟与试飞程序确保平视显示器的控制编码准确无误，以及从设计到试飞、鉴定的整个过程，所有这些都是非常重要的核心工作。作为一名私人飞行员，他可以将自己掌握的航空知识应用到工作之中。现在，他是编写核心控制算法的三名成员之一。

说到飞行航径矢量，汤姆告诉我："人们可能凭直觉认为，它的作用就是指示前进的方向。但是，相对于平视显示器上的其他指示符号而言，这个符号告诉我们的信息要多得多。"单凭飞行航径矢量，有经验的飞行员就可以获取风速、飞机下降率和动量变化趋势等信息。

引导提示也不仅仅是数据报告，而是工程技术和人类决策的集中体现。鲍勃认为，这是"多方协商的结果"。对于他来说，引导提示就是"工厂生产的产品……是各种各样数据的混合体，其中还包含了某种判断"。引导提示必须准确无误，而且必须平稳连贯，不可受到干扰或者出现断断续续的现象。他说："如果你试图把发送给自主驾驶仪、伺服系统等自动化系统的所有指令都发送给一个人，他很有可能根本来不及做出反应。因此，在发送这些指令时，你必须稍加调控。"数据筛选是平视公司的一项主要商业机密，是保证他们取得成功的一个秘密武器。

在飞机着陆前执行最后一个操作——拉平操作时，引导提示这个"多方协商的结果"将发挥最关键的作用。此时，机头上抬，飞机慢慢减速，直到主机轮接触跑道。民航飞行员以完成平稳的拉平操作为荣，但是拉平操作是否完成得干净漂亮却没有固定的标准。有的飞行员喜欢变化幅度较大的快速拉平，有的飞行员则喜欢以较慢的速度柔和、稳定地完成着陆。

着陆条件可能因为风速、风向、跑道坡度、雨雪天气，甚至机场海拔高度的不同而大相径庭。飞行员必须发挥自己的飞行技术，做出

准确的判断，通过拉平操作的调整变化，尽可能平稳地完成着陆。

但是，这些标准并不适用于平视显示器。对于鲍勃和平视公司而言，动作的一致性比是否优雅或完美更重要。“系统完成的每个动作都必须一模一样……我们不能在观看系统做动作时说，‘好的，这是为约翰·杜设计的拉平操作，这是为你设计的……还有一些是为其他人设计的。’”

为了得到美国联邦航空管理局的认证，平视显示器的某些参数（例如精确性和可重复性）必须优化。鲍勃说：“这是一件精细的工作。”以山区的高海拔机场为例。由于空气稀薄，飞机的速度就比较快，“你必须缩短拉平操作的时间，让飞机很快降落到跑道上”。

有的飞行员觉得，有了平视显示器之后，他们的着陆动作更加一致了。鲍勃说：“（以绝对平稳的触地动作）顺利地完成着陆当然是一件了不起的事情，但你要知道这是一种交换：如果动作不一致，触地点就会比较分散。”天气不好的时候，交换的意味更加明显：“我们的III类着陆拉平操作会让你稳稳地坐在座位上……为了让跑道上的触地点更加集中，它会放弃很柔和的软着陆方式。”这是在一致性与软着陆方式之间做出的取舍。

为了提升拉平操作的效果，飞行员可能不会盲目地接受平视显示器给出的引导提示。在这种情况下，飞行员“可能将操纵杆稍微向后拉，让机头稍微抬高一点儿。他知道这样做的话，就会做出一个非常完美的着陆动作。”鲍勃并不认为这种提升拉平操作效果的做法是取代飞行员的高超飞行技术和引导提示编码的变通办法，而是把它看作平视显示器的一个亮点。人可以根据自己在特定形势下对事态紧急程度的判断，以及自己的预期和技能，对显示器给出的飞行航径建议做出修改。鲍勃推测飞行员会在心中暗想：“只需把飞行航径稍微提高一点儿，就可以让引导指示的效果更好（即着陆动作更加柔和）。”这种用

户辅助的着陆方式有可能是平视显示器在工程技术上最为显著的特点。

2009年，一家独立的非营利性组织——飞行安全基金会开展了一项研究，调查平视显示器的潜在安全性。他们认真研究了12年（1995~2007年）期间发生的近千起飞行事故，试图确定如果在事故发生时飞行员使用了平视显示器，会产生什么样的影响作用。研究结果表明，这种现代化的大视图正形投影型平视显示器对其中38%的飞行事故有预防作用。此外，它对近70%的起飞和着陆事故也能起到预防的作用。平视显示器对增强飞行安全性做出了几个方面的贡献：首先是飞行航径矢量，其次是加速度和速度示误带、拉平引导和引导提示。

通过近期发生的那些引人关注的事故，同样不难看出平视显示器对事故的预防作用。2009年，科尔根航空公司的一家飞机在布法罗市坠毁，原因是飞行员将飞行速度降得太低导致发动机熄火。如果使用平视显示器，飞行员就有可能及时发现空速正在降低并注意到飞机的能态异常，从而为解决问题留出时间。对于2009年发生于阿姆斯特丹的土耳其航空公司空难而言，如果当时飞机上装有平视显示器，在自动着陆系统由于传感器故障而失灵时，机组人员就有可能及时地发现这个问题——就像科尔根空难事故一样，他们也有可能注意到飞机能量状态的异常。2013年发生在亚拉巴马州伯明翰市的UPS航空公司空难，是因为飞行员在夜间完成“非精密”进近时，让飞机撞到了小山坡上。如果使用平视显示器，他们就会看到跑道在哪里。

上文介绍过2013年的夏天，韩亚航空公司的波音777飞机在降落到旧金山机场前的进近情况。飞行员们当时需要完成的工作，就是在晴朗的天气里让飞机安全降落在一个现代化机场，这是飞行员们经常执行的最基本的任务。韩亚的机组人员没有平视显示器，当时机场的标

准无线电下滑台处于关闭状态。不过，固定式跑道灯都是打开的，可以通过目视方式判断飞机与下滑道的相对位置。

在最后进近时，飞机一直处于不平稳的状态：要么高过预期的下滑道，要么飞得过低；要么飞得过快，要么飞得过慢。结果导致飞机过早地触碰到跑道，机尾撞到路基上，飞机开始翻滚、起火。

所有飞行员都应该具备在晴好的天气里通过目视方式完成着陆的能力。控制飞行航径和空速是每名飞行员在入行之初就要接受的两项训练，但是韩亚航空公司的飞行员们却没有做好。操控飞机的韩亚航空公司的飞行员说，着陆时没有无线电下滑台的辅助，让他压力骤增。而且，航空公司鼓励飞行员“尽可能自动化”，许多飞行员认为这项政策的意思是让他们使用自动着陆系统。原因还不只是这些，这些飞行员对自动油门操作原理的了解也不透彻。在接受飞行训练时，飞行教练认为自动油门的正确操作是一个讨厌的事情，因此根本没有加以注意。我们可以想象，当时那位飞行教练可怜巴巴地说：“有时候，它就会出现这样的问题。”

韩亚航空公司的飞行员不愿意进行手动飞行，因为他们担心一旦出问题就会受到处罚。2012年，韩亚航空公司只有17%的着陆采用了自动着陆方式，但在手动着陆时，77%的飞行员直到飞机降到跑道上方300米以下的高度时才从自主驾驶仪那里接管了飞机，进行手动控制，而此时，机器已经完成了大量工作。事故报告最后指出：“由于飞行员手动驾驶飞机的机会不多，他们的驾驶水平因此有所下降。”

如果平视显示器发出警报，让韩亚航空公司的飞行员了解到飞机能量状态衰减的问题，那么他们会不会有足够的时间来解决这个问题呢？在平视显示器的帮助下完成手动飞行，是否能防止这些飞行员的技术下降呢?

在法航447号航班的飞行途中，如果他们使用平视显示器，是否会有助于飞行员修正飞机的飞行高度，防止发动机熄火，从而避免事故的发生呢？这是一个更具争议性的问题。

我的目的不是评估平视显示器的效果，也不是宣传它的优点。毫无疑问，平视显示器不可能解决驾驶舱自动化带来的所有问题。比如，平视显示器无法解决韩亚航空的飞行员不熟悉自动油门操作的问题。随着时间的推移，人们自然会弄清楚平视显示器增强安全性的效果是否具有统计学显著性。

我的真实目的是要告诉大家，平视显示器代表解决这类问题的一个新思路：尽管平视显示器毫无疑问是“高科技”，但它更是一种创新，一种改变了人在系统中所处位置的创新。使用平视显示器时，飞行员并不是简单地坐在那里监控飞行，而是积极地参与到飞行的控制之中。有时候，提高自动化程度的确是一个比较简单的解决办法；但有时候，更高程度的自动化也需要借助更新颖的创新技术，让人能深入地参与进去。如果你是一名乘客，在一个多云的天气里，坐在一架正在降落的飞机里，你是否希望飞行员深入参与到飞行的控制当中呢？

平视显示器的例子说明，在我们为航空业以及其他领域里发生的自动化问题而绞尽脑汁时，我们不应该简单地认为添加新的设备和软件就可以解决这些问题，而要思考如何在促进人机协作这方面有所创新。这些创新有的被称作“信息自动化”，把数据以新的形式提供给人类飞行员。而与之相对的“控制自动化”，则指由机器代替人类飞行员驾驶飞机。

最后再举一例。“合成视景”（synthetic vision）技术使人们利用电脑绘制地形和机场图像、为飞行员构建视景的发展趋势得以继续。在夜间或者多云的天气里驾驶飞机降落时，合成视景不仅可以提供飞行航径矢量，还可以向飞行员展示虚拟的地形地貌。对于没有安装平视

显示器的小型飞机（包括我自己的比奇富豪飞机）而言，在驾驶舱仪表的后面出现合成视景的画面之后，飞行航径矢量就可以被添加到合成地形图上面，帮助飞行员“让两个小东西重叠”（也就是把飞行航径矢量放到跑道的虚拟图像上面）。飞行航径矢量指向哪里，飞机就会降落在哪里。

除了提供交通流量信息以外，合成视景也还包含罗盘航向、障碍物警告等定量指示符号。合成视景深受飞行员的喜爱，因为有了合成视景，他们就可以在任何天气条件下进行目视飞行了。平视公司的工程师鲍勃说：“他们学过目视飞行，现在，他们又回到了‘将这个符号叠加到那个符号上，我就成功了’的模式。”有了合成视景技术，对飞行员而言每一天都晴空万里，都是适合飞行的完美天气。

然而，合成视景也突出体现了人们对所有信息自动化的担心。的确，信息自动化使飞行员更深入地参与到控制链路中，让他们可以直接操控飞机；而且只要飞行员愿意，他就可以把信息自动化丢在一边，也可以加强信息自动化的程度。不过，信息自动化对软件的依赖程度仍然很高，而这些软件是人发明创造的，同其他人类活动一样，也会受到某些现象的影响。

合成视景在模拟地形的时候，十分依赖数据库提供的数字，以至于产生了一些问题：模型的精确程度有多高？模型的“新鲜度”又有多高？数据库在建模时是以过去某个时刻的情况作为原型的，机场建筑、塔楼与附近的吊车，乃至设备故障都有可能不显示出来。此外，合成视景只会显示经过修正的理想世界，不会把乱七八糟的意外情况（例如，停在飞机跑道上的鹿或者卡车）也包含进去。当合成视景叠加到平视显示器上时，虚拟地球的平滑轮廓看上去可能就像罩在真实环境上的团团云雾，令人分神。不过，令人信服的图形有可能产生很强的吸引力，让飞行员盲目地依赖这些数据。



图3–3 在作者的飞机里拍摄的最后进近的合成视景显示图像。请注意图中圆形的飞行航径矢量和跑道轮廓。飞机将降落在这两个图标重叠的位置
图片来源：奈特·西蒙斯。

在了解了这些情况之后，现在我们可以思考未来的情况了。将来的飞机是否会全部无人驾驶呢？我们是否应该朝着这个方向发展呢？在没有人类飞行员的情况下，现有技术已经可以驾驶飞机缓缓地滑进跑道、起飞、飞向目的地，然后降落。但是，这些技术大多应用于真正意义上的无人飞机，即使发生空难，也不会导致伤亡发生。如果飞机上载有100个人，无人驾驶的飞行方式就会让我们担心害怕。

编写软件的工程师在假设可能发生的意外事故或紧急情况时，能做到算无遗策吗？他们也许做不到。但是，如果飞机和软件有“学习”能力，只要一架飞机乃至整个航空公司出现异常情况（包括自动化故障），就可以从中获得某些经验，并将这些经验应用到决策活动

中，结果会怎么样呢？在计算机速度极快、存储成本极低的时代，每架飞机都可以建立一个数据库，将该飞机、该机型、该航空公司、该机场之前产生的飞行数据全部纳入其中。

研究人员（以及航空公司）正在努力地从这些大型数据集中汲取知识。在帮助信用卡公司识别可能的欺诈性交易，或者某个网站为你接下来访问推荐个性化商品时，这些统计技术都能取得非常好的效果。但是，这些预测是否真的非常准确、万无一失，就像欢迎我们登机的那些体型优美、行为举止得体的乘务员一样深受我们的信任呢？如果它们真的很准确，我们又如何得知呢？我们才开始思考如何判断这些算法的安全性。

面对机器人与自动化技术，飞行员的角色正在发生变化。这个现象在平视显示器以及其他多个方面都有所体现。随着无人驾驶系统不断蚕食有人驾驶飞机的空域，这两项技术与我们的关系变得尤为密切。美国联邦航空管理局在政治和商业双重压力之下，不得不将严格管控的空域向无人驾驶航空器开放，用于农业、房地产以及包裹派送和电影拍摄。

技术、程序，再加上规章制度，最终将解决这个问题。但是，我们从极端环境中和航空领域获得的经验告诉我们，无人机并不是一味地模仿有人驾驶飞机，两者必将同时发生变化。“阿尔文”号潜水器上安装了为自主机器人设计的计算机和软件。与之相似的是，有人驾驶飞机在平视显示器、合成视景和其他计算机辅助系统的影响已经发生了一些变化，这样的变化在前几代飞机安装自动着陆系统、自主驾驶仪以及圆形标度盘仪表时也发生过。

在航空领域，我们很可能会看到趋同现象。有人驾驶飞机与无人机已经非常相似了，不同点仅在于你是否真的坐在飞机的驾驶舱里。在第6章我们会发现，这种相似性可能会进一步提高。尽管操纵无人机需要有人提前输入指令，但是应该与亲身驾驶航班班机没有多大不

同。不过，如果飞机上有乘客，那么出于技术的需要，也是社会的需要，飞行员就应该出现在飞机上。如果我们让飞行员彻底离开飞机驾驶舱，会出现什么样的情况呢？这是我们下一章要讨论的问题。

---

1. 伊卡洛斯（Icarus），希腊神话中的一个人物，代达罗斯之子。伊卡洛斯身插其父制作的双翼逃离克里特，固定双翼的蜡因离太阳过近而熔化，致其坠落而亡。——译者注

第4章
远程战争：无人战斗机和现代战争中人类角色的重新定义

“捕食者”无人机的驾驶舱不仅是飞行员操控飞机的场所，而且是让现代战争所需要的人员（程序员、飞行员、传感器操作员、地面部队等）与信息产生联系的节点。

从美国西部炎热的沙漠中走出来，走进拖车里幽暗的“捕食者”无人机控制室，你立刻就会发现自己置身于一个远程战场。显示屏闪烁着微弱的光，各种设备的风扇发出“嗡嗡”声。与飞机驾驶舱一样，这间控制室里也有两个重要的座位，一个是指挥行动的飞行员座椅，另一个是负责观察的传感器操作员座椅。飞行员监视附近的友军和敌军动态，通过无线电、聊天室、电话等设备与外界联络；传感器操作员负责控制“捕食者”无人机上的摄像头，搜索并锁定目标。控制室里的第三个人是任务协调员，他坐在飞行员和传感器操作员的后面，负责与作战区域的地面部队、情报分析人员和指挥链上的其他人员保持密切联系。

在开始执行任务之前，驻扎在位于地球另一端的战场里的发射回收小组，负责将跟通勤飞机差不多大的无人机准备好。然后，他们就会通过全球网络将控制权交给远程小组。在自主驾驶仪驾驶无人机飞往战场的同时，操控人员要做好执行任务的准备。“捕食者”的速度比较慢，飞行过程需要耗费好几个小时。在这期间，远程小组的很多工

作与我们日常在办公室里的工作非常相似，比如注册、登录、设置屏幕和菜单等。



图4–1 “捕食者”无人机的地面控制室。飞行员坐在左前方，传感器操作员坐在他的右侧。请注意LCD液晶显示器的数量。还请注意，在控制小组左右两侧各有一块白板，这是用来调配数据和行动的

图片来源：布莱恩·W·琼斯。



图4–2 “捕食者”遥控无人机。注意观察悬挂在机头下方左侧的感应球和机翼下方悬挂的“地狱火”导弹
图片来源：美国空军莱斯利·普拉特中校。

系统设置与检查的工作量非常大。尽管这些工作从性质上看平淡无奇，却可以在控制小组与无人机，以及他们准备观察、参与的远程战场之间建立联系。在布置工作场所、配备工具、调试显示器、养成个人喜好的过程中，他们形成了一种沉浸感和存在感。他们会问：“谁在互联网聊天室里？战场上的情况怎么样？网上有什么？”

交接班的时间与任务的起始时间常常不吻合，因此来接班的控制小组会提前几分钟到来，观察上一个控制小组的操作，了解任务的进展情况。在任务特别密集的时候，他们可能会推迟交接班的时间。一名曾任F–16战斗机飞行员的“捕食者”无人机飞行员说：“这是一个非常明显的变化。当我走进驾驶舱时，那里已经有一个小组在执行任务了。”过去，他坐进战斗机驾驶舱之后，飞机才会从地面起飞，任务才正式开始。

“捕食者”无人机在关键时刻经常发生的计算机崩溃和锁死的问题仍然没有解决，但各控制小组从困难中学到了应对之策：避免敲击某些组合键，降低发送指令的速度，不能混淆相邻的两个按键。

即使是简单任务，也需要分几步完成。比如，仅仅是打开飞机的自主驾驶仪，就需要敲击键盘20多次。一位操作人员说：“我们都在想，是不是工程师觉得我们太笨了？他们肯定认为我们是白痴，就喜欢不停地敲击键盘、做傻事，所以他们才会把每一个环节都设计成分两步完成。”

操作指南冗长难懂，意思模糊不清。有些重要内容被隐藏在系统的编码之中，而操作指南中却没有提及。操作人员只能转而求助于口口相传的传统方法，才让系统正常运转起来。操作人员掌握的所有技术都旨在让该系统按照设计意图完成相应的任务，不会越雷池半步。

“捕食者”无人机的飞行员要完成哪些“飞行”操作呢？在飞机起飞之后，控制权便立即交到飞行员的手中。飞机沿着GPS（全球定位系统）生成的航点自动飞行，飞行员的任务则是监控飞行。虽然是远程连接，飞行员仍然可以通过操纵杆进行手动飞行。不过，由于缺少重力和转弯的感觉，也感受不到引擎的声音、震动和气味，因此手动飞行是一个难度极大的挑战。

“捕食者”的设计使遥控飞行的难度进一步加大。无论是赛斯纳练习机还是战斗机，为飞机配平（将控制器设置在某个点位上，使飞机始终保持某个俯仰角和空速）都是一个最基本的操作。在操控配平后的飞机时，飞行员只需轻轻触碰控制器。但是，要配平“捕食者”的控制器，使飞机保持平稳，却需要通过显示器——操纵杆——操纵按钮的多步骤程序，整个过程非常繁复，而且极不自然。

更糟糕的是，操纵杆上按钮的位置让人难以适应。一直以来，美国空军飞机的投弹按钮都位于操纵杆的上部左侧位置。但是，在“捕食者”无人机上，如果按下这个位置上的按钮，就会关闭飞机的增稳系统，导致飞机发生翻转并失去控制。

在发送指令到收到响应之间有一个1.8秒的时滞，这也使手动遥控飞行变得更加复杂。根据逻辑推理，人们可能会认为这个时滞是必不可少的，因为指令传送要通过空间卫星完成，并且需要跨越半个地球的距离。不过，由于指令是以光速传送的，因此所需时间仅约为半秒。剩余的时滞是视频压缩工具、路由器以及处理数据的其他设备造成的。通信系统的设计目的是优化图像质量，而不是加快响应速度。

飞行员可以控制无人机沿着某个方向飞行，并且保持航向，还可以通过操纵杆控制自主驾驶仪实现某些变化（与今天许多航班采用的电传控制技术非常相似）。新款“捕食者”无人机增加了新功能，比如点选式留待模式（飞行员确定一个点，然后围绕这个点画一个圆圈，

就可以让无人机自动绕着该点飞行）。这个特色在快速安排无人机执行观察任务时十分有用。

不过，在自主驾驶仪的控制下，“捕食者”无人机只能完成左右倾斜14度的飞行，转弯速率受到限制。为了实现极端操作，飞行员有时需要控制飞机完成20度或30度的倾斜飞行，因此他们会切换到手动控制模式。倾斜角度的问题，与飞机本身关系不大，而是由负责把机载卫星天线向上竖起的伺服系统造成的。如果倾斜角度过大，飞机的信号锁定就会失败（在现代航班转弯时，卫星电视信号同样会中断）。如果飞行员控制飞机完成的倾斜角度过大，有可能导致与无人机失去联系，在自主驾驶仪自行修正并再次获得信号锁定之前的几秒钟时间里，他们无法得到任何图像回馈，还会失去对无人机的控制权。

在公众面前和自己的回忆录中，“捕食者”无人机的飞行员往往会强调，在避让恶劣天气、障碍物或者其他飞机等特殊情况下，他们需要不断地使用手动飞行技术。但是，空军内部人士把无人机的操纵杆称作“信心提振杆”，认为通过卫星链路手动操作捕食者是一种“愚蠢的行为”。美国空军前参谋长迈克尔·莱恩说：“我们就不应该让飞行员手动操控无人机。”莱恩认为，飞行员应该利用自主驾驶仪，沿着航点以更抽象的方式控制无人机。

与之不同的是，生成影像与视频是“一件至关重要的事情”，但这项任务完全由传感器操作员负责，而不是飞行员。这些传感器操作员发现，他们需要使用与航空没有任何关系的新技术，比如，他们根据即时温度、环境和当日时间来校准摄像头和红外探测仪。他们与飞行员合作，让飞机飞到最佳观察点，然后调整焦距、增益系数和平衡摄像头，以便建立一个“具有统计学显著性的镜头”（也就是说，可以得到有价值的信息）。传感器操作员把这项工作称作“培养”强大的“视频跟踪系统”。在他们的眼中，视频跟踪系统“就像有生命的事物，需要

定期照料”。而且他们认为，如能拍摄出高质量的视频，是值得骄傲的。

成像系统也实现了一定程度的自动化，可以自行完成这些调整工作。但是由于人类操作员更了解人类的环境，因此他们取得的效果常常优于计算机。比如，他们可以区分正在运行的引擎和未启动的引擎，辨别人与牲畜，或者依据时间和沙漠热浪做出相应调整。传感器操作员可以根据从无线电和聊天室获取的信息统筹处理所有数据和图像。卫星链路的带宽是有限资源，所以操作员可以放弃某些数据，把带宽用来处理其他重要数据。在关键时刻，他们可以把资源向视频内容倾斜，以获取最佳成像效果。

由于漂浮在地面上方，居高临下地观察目标，因此“捕食者”无人机的传感器操作员越来越“觉得自己变成了传感器”。传感器是指悬挂在机头下方，由摄像头、激光装置和伺服系统构成的小圆球。飞行员和传感器操作员坐在拖车里，伸着脖子，还不停地变换身体姿势，以便俯视或从不同侧面观看屏幕上的物体。在紧张的时候，他们有时会把自己的声音压得很低。事实上，就算他们大喊大叫，声音也不会传到他们正在观察的远程战场。教练认为，这种存在感有助于传感器操作员把注意力集中在画面上，更关注观察对象，迅速探测动态，并对异常情况做出快速反应。

战斗机飞行员承认，尽管他们真的驾驶飞机从战场上空飞过，但他们的存在感不如无人机传感器操作员强烈。由于多种因素（包括显示器的大小，是否有其他人在场等）的综合作用，无人机传感器带给他们的“身临其境”的感觉并不是一成不变的。

战争是国家支持的有组织、有伤亡的作战活动，因此管理战争风险、应对道德困境必然会催生一些令人敬重的职业。如果人不亲临战场，那么这些职业的性质以及相关体验的重要意义都会发生变化，还会引发公众热议。本章主要描述无人机的发展历程，讨论“捕食者”无

人机的诞生过程、操作特点，并把那些见证、影响并且深度参与整个过程的远程操作人员介绍给读者。与远程操作的深海探险者一样，这些操作人员的经验不仅来自机械本身，还来自各种社会关系。此外，飞机与飞行员的身份认同一起演变，都在为国家安全而不断努力。这种情况与航空业非常相似。

美国空军的“捕食者”和“死神”遥控飞机已经成为无人机的典型代表。“捕食者”无人机在结束试验阶段之后，截至2010年完成了100万个小时的战斗飞行；截至2013年，这个数字又翻了一番。美国空军投入了大量经费，购置了数百架“捕食者”无人机，用来执行60多次“战斗空中巡逻”任务（结果，有70多架“捕食者”无人机坠毁）。2012年，美国空军安排更多的无人机操控人员接受初级资格培训，其人数甚至比战斗机和轰炸机飞行员的总数还多。

每次战斗，空中巡逻任务需要4架无人机在目标上方进行24个小时连续不断的巡逻。同时还需要150多人，因此远达不到“无人”的标准。截至2009年，“捕食者”无人机的操作占用了美国空军全部人力资源的近4%，涉及的飞行员占全体飞行员的比例超过9%。“捕食者”A型无人机于2011年停产，但是“捕食者”B型无人机（被称为“死神”，装甲更厚实，飞行速度与高度均增加了一倍，有效载荷更是A型无人机的10倍）被源源不断地从生产线上生产出来。

“捕食者”无人机的机头体积庞大，位于与普通飞机驾驶舱相对应的位置，机翼细长，向下倾斜的飞机尾部装有一个推进式螺旋桨，这个独特的外形已经成为矛盾不断的机器人时代的典型形象。“捕食者”无人机可以切换到留待模式，悄无声息、长时间地“隐身”于远程战场上空，通过红外摄像头密切关注战场动态，然后发射精确瞄准的小型炸弹或者导弹。关于这项技术，人们的观点大相径庭。有人认为这是未来战争的前沿技术，还有人认为这是美国技术力量误入歧途的象

征，预示着机器人自主监控时代即将到来。无论你站在哪个立场，“捕食者”无人机已经成为人们普遍关注的一个焦点。

然而，尽管媒体长篇累牍地报道，不同意见和争论甚嚣尘上，但是对于“捕食者”无人机操控人员真正的职责、这项技术对他们的战争体验有什么样的影响，我们却知之甚少。“捕食者”无人机经常被人们拿来与有人驾驶的战斗机和轰炸机进行对比，但它并不是简单地模仿这些飞机，它的飞行员也不是普通飞行员的翻版。“捕食者”无人机走过一条不寻常的道路，在历经曲折之后，终于演化成一种新型飞机，由专业人员操控，执行新任务。站在这些演变过程前列的引领者中有很多人都是“捕食者”无人机的使用者，包括操纵飞机从地面起飞的人、得到无人机支持的作战人员和在战争中指挥这些无人机的军官。

通过这些创新活动，“捕食者”无人机的飞行员有了深刻的亲临战场感，尽管这种体验是通过技术实现的。面对无人机战争是一种“看似冷静的电脑游戏式”战争的批评，一位操作人员说：“任天堂的玩家有一种超脱于游戏之外的心态。而无人机是真实的，我击毙的是真人，使用的是真实的武器，而且我必须为自己的行为负责。”

“捕食者”无人机接到任务后，不是由一名飞行员独自操纵一架飞机孤零零地飞往任务地点，也不是由无人机自主地完成这项任务。事实上，“捕食者”无人机是全球系统的一个组成部分，在不同地点，还有众多相关联的用户和消费者正在操控无人机。在一些人的心目中，它代表战争中的一次革命；在另外一些人看来，它就是军火库中的一件新式武器；还有一些人则认为它越过了道德底线，成为一件令人不安的远程杀人利器。但是，“捕食者”无人机绝不是一个自主型系统，它无法自主地做出决策，它的操控也离不开人。

几十年以来，无人机一直是美国军事力量的一个组成部分。在航空发展史的每个阶段，都会有一些远见卓识者，认为无人机是不可避免的前进性演变。不过，用历史学家托马斯·艾哈德的话来说，直到世

纪之交，无人机仍然是“一些微不足道的系统，被锁在一个似乎永不停止、默默无闻的循环圈里”。要了解“捕食者”无人机，我们必须先了解那个默默无闻的循环圈，以及从这个循环圈破茧而出的东西到底是什么。

无人机的历史要追溯至航空业刚刚起步的时候。早在20世纪二三十年代，美国军方就已经展开这方面的实验了。1936年，为了把美国飞机与绰号为“蜂后”的英国飞机区分开，美国空军少校德尔玛·法尔尼自创了“drone”（无人机）这个表达。第二次世界大战期间，人们开展了无数次实验，制造出各种各样的无人驾驶飞机和导弹，有的堪称杰出发明，有的则是失败之作。

1944年6月，D日[注]刚刚过去，德军就把他们研发的V–1型飞行炸弹投在了战场上。在接下来的几个月里，他们把将近10 000枚炸弹投到了伦敦，其中约23%的炸弹击中目标，夺走了6 000多人的生命。用今天的技术术语来说，V–1型飞行炸弹几乎没有“智能性”，但是基本的自动化装置和反馈电路却可以让炸弹保持在固定高度上平直飞行。德军没想到的是，这些自动化装置的操作过于精确，炸弹沿着笔直的路线飞行，很容易被新式雷达和电子计算机捕捉到。不过，这些炸弹还是赚取了“自动导航导弹”的名声。

毫无疑问，受到攻击的人肯定认为攻击自己的是一种目的明确的、邪恶的智能性导弹。这种感觉没有错，但智能性并非源自那些自动操作，而是来自制造这些炸弹的德国工程师，以及下令攻击平民的德国军队领导人。V–2型弹道导弹是V–1型飞行炸弹的“同胞兄弟”，体型更大，造价更高，也是一种“自动导航导弹”。V–2型弹道导弹的问世，激起了火箭与无人机之间的技术对抗，并对随后几十年的技术发展产生了深远影响。

战后，美国军方全身心地投入到制导导弹的研发之中。1945年，因为描绘未来50年的技术发展蓝线图而在美国空军界享有盛名的“新视野”（New Horizons）报告，用了一个章节的篇幅讨论“无人装置”。第二年，美国军方就把包括“天狮星”导弹在内的近50个制导导弹项目列入了计划。“天狮星”是由火箭发射、喷气动力、无线电制导的巡航导弹，携带一枚大小与重量都相当于一架战斗机的核弹头。现在，这种导弹已经被人们遗忘了。当时的研究计划还包括“斗牛士”和“纳瓦霍”巡航导弹，但这两个耗资巨大的项目最后都以失败告终。试图将有人驾驶轰炸机改造成无人驾驶作战平台的努力，最终收效甚微。

20世纪50年代盛行的“制导导弹”一词提醒我们，无论“捕食者”无人机是军事机器人技术发展到哪个阶段的产物，在我们这个世界，人们早就将某种形式的自动制导技术应用到武器研发之中了。制导系统使导弹在自动控制方面达到了不亚于同时代所有机器的水平。尽管受限于预设的弹道，但是制导导弹可以从周围环境中获取大量回馈信息，并应用到控制链路中。例如，它在空中飞行的短暂过程中通过观察恒星的位置精确调整制导系统，来准确命中目标。

我们肯定在其他地方见过这样的说法，在前数码时代，人们可以利用一些比较简单的技术，让无人驾驶飞机的自动化和自主性超过现在的无人机。与这些早期系统相比，“捕食者”无人机上的人类控制成分更多一些。

从技术方面看，无人机受到有人驾驶飞机和制导导弹（尤其是洲际核导弹）的夹击。后两者都是任务明晰的平台，公众形象好，有确定的支持者。随着卫星在监控方面的应用，无人机又迎来了一个新的竞争对手。

20世纪60年代，苏联击落了弗朗西斯·加里·鲍尔斯（Francis Gary Powers）驾驶的U–2间谍飞机。事件发生之后，美国人的反应不是制造无人机，而是选择用更成熟的技术研发出飞得更快、更高的有人驾

驶飞机（外形奇特的3马赫SR–71间谍飞机），并把更多的注意力放在卫星侦察领域。同时期，美国还投入了大量经费，研发从SR–71飞机发射的超声速无人机。但是，在执行了4次作战飞行之后，由于故障频发、成本超高，再加上卫星传回来的影像效果更好，因此这项计划被取消了。当然，今天的卫星其实也是由自动化装置与地面控制台共同操控的。

20世纪末，无人机终于找到了一个适当的定位——充当火炮瞄准训练的可回收无人驾驶靶机。这些靶机要么是定制的小型飞机，要么是由计算机和制导系统取代人类驾驶员的无人机。比如，“莱恩–火蜂”无人机（该飞机的制造商也是查尔斯·林德伯格的“圣路易斯精神”号飞机的制造者）可以按照预定路线飞行，然后用降落伞回收。“火蜂”无人机在1971年之前完成了4 000多次飞行任务，由此积累的丰富经验帮助人们发现了无人机在战斗中的更多应用。

参加过越南战争的“闪电虫”无人机可以从C–130运输机发射，是由“火蜂”无人机衍生的侦察飞机。大多数无人机都是假目标或者电子干扰发射机。有的可以记录数据，特别是防空雷达发射的电磁波。大多数无人机需要沿着预定的航线飞行，有的则可以由发射飞机上的飞行员远程操控并实时回收数据。1964~1974年，美国实施了3 000多次针对越南等国的飞行任务，共损失578架飞机。2003年，还有为数不多的无人机前往伊拉克执行飞行任务。尽管飞行记录比较丰富，但是这些飞机仍然操作不便、易损毁，而且起飞和控制都需要借助专门的支持飞机。

针对人们在无人机应用方面犹豫不决的态度，有人把责任归咎于飞行员，认为他们担心自己的工作被精准的自动化装置抢走，因而采取了抵制态度。但是，专家学者们没有发现证明存在这种“白围巾综合征”（飞行员因不愿放弃英雄形象而采取的传统抵制行为）的证据。如果这种现象真的存在，那么在飞行员占据重要地位的空军内部，抵制

的力度应该是最大的。但事实上，有记录表明，飞行员们不断采取措施，积极尝试研发、使用无人机。不过，飞行员都深爱他们的飞机，舍不得离开飞机，而无人驾驶飞机缺少有激情的支持者。“只有因机械上取得的成就而滋生的模糊的新奇感，以及减少伤亡的前景，起到了一些推动作用。”

无人机的发展还遇到了其他障碍。站在经济角度，人们在销售无人机时一般是以有人驾驶飞机作为比较对象的，但是如果降低无人机的成本，就难以保证它具有与有人驾驶飞机相当的性能。无人机的任务常常并不明确。条约（尤其是旨在限制核武器的《中程核力量条约》）的限制规定并不区分技术上的微妙差异，宽泛定义的巡航导弹将无人驾驶飞机也囊括其中，这对无人机的合法使用产生了一定的限制作用。

技术局限性也是一种阻碍。在GPS于20世纪80年代问世之前，无人驾驶飞机的导航几乎是一个无法逾越的难题；导弹与无人机所依赖的惯性测量系统体重过大，不适用于小型飞机。数据传输器十分笨重，而且能力有限，并不可靠。此外，机载计算设备也面临同样的问题。

无人驾驶飞机自始至终都要与资金支持力度更大的成熟系统（尤其是飞机与卫星）展开竞争，这可能是无人机面临的最大困难。这些系统都已经有了完备的人力、物力支持体系。对无人驾驶飞机有益的所有技术进步（计算、导航、电子控制武器等），对那些更加完善、更加成熟、更为人们熟知的系统几乎同样有效。

由于技术上不够成熟，还要面对其他技术的竞争，因此无人驾驶飞机的发展一直处于落后地位。

在这些代价巨大的失败之作、技术方面的重重限制，以及难以推广的冷门应用的背景之下，“捕食者”无人机终于艰难地问世了。艾哈

德说："它的问世充满了难以想象的偶然性。""捕食者"无人机的研发远称不上是一种颠覆性突破，也不是显而易见的线性演化，而是一种断断续续的演变过程。今天，这个独特的问世过程又对操作人员的身份认同与体验产生了深远的影响。

"捕食者"项目始于20世纪80年代的一项特殊计划。美国国防部高级研究计划局（DARPA）启动该计划的目的是，建造一种可以用作巡航导弹的长航时侦察车。一家名叫"领先系统有限公司"（LSI）的小型公司，在其创始人、以色列天才设计师亚伯拉罕·卡里姆的指导下，制造出样机——"琥珀"无人机。20世纪80年代末，"琥珀"无人机第一次升空，为它提供动力的是一台用于雪地机动车和娱乐型飞机的小型活塞式发动机。1988年，"琥珀"无人机创造了无人驾驶飞机的一项纪录——空中停留时间超过38个小时。

1987年，由于面临效率低下、重复研究和无人驾驶程序故障等问题，美国国会下令合并多个相关研究项目。于是，美国国防高级研究计划局将"琥珀"无人机研发计划移交给美国海军，而后者立刻取消了这项计划。领先系统有限公司破产，于1991年被通用原子公司收购。后者在航空领域几乎没有任何经验，于是他们聘请了卡里姆和他的大部分工程技术人员。在卡里姆的带领下，通用原子公司继续推进领先系统有限公司的项目，研发"琥珀"无人机的衍生产品——GNAT–750。

今天，作为"捕食者"无人机的发明者，卡里姆和他的团队在新闻界享有盛名。的确，他们制造的飞机机身非常轻，续航时间长，而且质量比竞争对手的更结实。在最近接受采访时，卡里姆说："我希望无人机在安全性、可靠性和性能等方面可以与有人驾驶飞机相媲美。"但是，卡里姆和他的团队成员都是飞机设计师，他们从未想过他们设计的飞机会成为一个更大型的人机交互系统的组成部分，发挥更加重要的作用。

1993年，通用原子公司向土耳其出售了几架GNAT–750无人机。随着巴尔干半岛的冲突逐渐升级，美国中央情报局（CIA）需要使用长航时无人机监视塞尔维亚境内的目标。不久后，这些GNAT–750无人机就飞到了波斯尼亚的上空。飞行员来自各个军种，但陆航直升机飞行员占其中的大多数。他们在阿尔巴尼亚操控这些飞机，通过中继卫星将视频资料传送到美国。在巴尔干半岛进入冬季后，这些飞机就无法继续执行任务了，于是飞行员们悄悄地整理行装，回国等待天气转好。由于结冰问题久久无法解决，再加上地面火灾和事故导致两架飞机损毁，这项任务因此终止。

由于美国军方缺少“战术侦察”（近距离观察地面部队动态）的资源，GNAT无人机引起了美国驻欧洲空军司令约翰·杰普将军的注意。在1991年的海湾战争中，美国军队难以定位并摧毁飞毛腿导弹发射架的问题，凸显了追踪移动目标的必要性。有了GNAT无人机后，杰普将军就可以通过实时视频回馈监视敌军武器的调动情况，协助实施搜救工作，还可以监督人道主义行动的实施（其中一次行动是为教皇保罗二世1997年访问波斯尼亚的活动保驾护航）。尽管GNAT无人机也发生过故障和坠毁事故，但不间断的“持续侦察”能力仍然让它声名鹊起。

通用原子公司增大了GNAT–750无人机的体型，并对它进行了升级，增加了一条卫星链路，使其具备了远程操控的性能。1994年，通用原子公司把“GNAT”这个昵称改为充满杀气的“捕食者”。由于该机型并没有配备武器，因此这个名字有点儿出人意料。最初的机型不能离开地面站的视线范围（约192千米），但是加装了卫星链路之后，它的飞行范围可延伸至卫星应答器覆盖地区的每一个角落（半径约为640千米）。

“捕食者”无人机用它标志性的硕大机头装载卫星天线，机头下方的圆形外罩里装有颇具特色的传感器摄像头和其他传感设备。新研发

的GPS让“捕食者”无人机如虎添翼。（早期的无人驾驶飞机由于缺乏精确定位的能力而举步维艰，“捕食者”无人机成为第一批使用GPS的作战无人机。）此外，“捕食者”无人机还可以在传统飞机跑道上起降，而且不需要专门的支持飞机，这是它的前辈们无法比拟的。

在随后的试飞与演习中，“捕食者”无人机都交出了令人满意的答卷。1995年，“捕食者”无人机在匈牙利完成了它的第一次战斗任务——飞越科索沃上空。由于飞行速度较慢，仅抵达目标区域就耗费了8个小时的时间。但是，等到身在匈牙利的操作员从无人机上下载的实时视频飞越大西洋、源源不断地传送至美国五角大楼办公室后，开始感受到视频回馈的好处且食髓知味的将军们纷纷给“捕食者”控制小组打来电话。小组成员惊奇莫名，他们把这个现象称为“‘捕食者’引发的关注热潮”。

1996年，这种从空中监视敌军的新技术引起了美国国防部部长威廉·佩里的关注，他正式将“捕食者”计划交给美国空军。此后，为了将这个研发计划转化为正式的采购行动，美国空军开始了一系列进展缓慢、单调乏味的工作。1998年，由于缺乏程序和文件的支持，美国空军又将这个计划转交给其内部的一个叫作“Big Safari”的机构。

通常情况下，这个秘密组织通过商业途径购置一些尖端部件，然后悄悄地组装成可以执行独特任务的新设备，而且建造的系统平台数量通常比较少。Big Safari机构以创新闻名，但在起草文件这种官场技能方面表现平平。

Big Safari机构将这项计划标准化，导致与通用原子公司的工程师们频频发生冲突。这些工程师自视为颠覆性创新者，不愿意理睬军方官僚们的各种要求。通用原子公司研发“捕食者”无人机所用的经费大多是内部筹集的资金，因此工程师们不愿意将研究资料交由政府部门实现标准化。尽管有些工程师也是飞行员，但他们大多来自通用航空

领域，只在周末驾驶一下小型飞机，而不是那些需要与大型系统展开密切合作的军方飞机。

通用原子公司的工程师们并不认同美国空军飞行员和计划管理人员所强调的文件证明、可预测性和一致性等原则，因此他们之间矛盾不断。Big Safari机构的领导人威廉·格赖姆斯说："通用原子公司希望悄悄进入这个领域，在不让任何人知道的情况下，仅凭一己之力就让这个领域发生某种变化。但是，在过了很长一段时间之后，（他们）终于明白这个愿望是不可能实现的。"

2000年，"捕食者"无人机的"基本机型"终于面世了。它拥有功能更强大的引擎和可以在敌占区空域与友军飞机通信的无线电设备，据称可以为美国空军的作战行动随时执行持续侦察的任务。

为了降低"琥珀"、"GNAT"和"捕食者"无人机的造价，使其结构更简单、重量更轻，卡里姆和他的团队想出了诸多妙招，但令他们想不到的是，这些捷径大大增加了飞机的操控难度。细细长长的机翼使飞机难以在大风天降落，而且对冰冻天气十分敏感。飞机上的系统无法给出确切的机载燃油的剩余数量，只能通过监测燃料流量表给出不准确的数据。由于没有任何指示说明飞机是停在地面问题还是已经升空，这常常让操作人员摸不清情况。许多其他问题也让人为之头疼多年。

造成这些麻烦的主要原因不是工程结构的设计过于草率，而是机器的定位在不断发生演化。卡里姆和他的工程师们最关注的问题就是设计一架自主型飞机。研发工程师们醉心于飞机外壳的改造，而卡里姆等人关注的则是减轻重量、增强续航能力、提高可靠性，但对于如何满足用户需要或者融入更大的网络等问题却兴趣不大。

因为重视无人机的自主性，所以他们削弱了地面控制台的作用。他们认为，对于一架应该自主工作的飞机而言，设计一个花里胡哨的

操作界面没有任何意义。事实上，他们认为，人类输入的数据越少，无人机的可靠性就越高。此外，建造一个可以自行工作的自治系统，与建造一个必须依靠人类才能工作的系统相比，前者似乎是一个更简单、更容易完成的任务。

从“琥珀”无人机到“捕食者”无人机，在这个过程中基本保持不变的地面控制台，却因为这架样机的特点而吃尽苦头。“捕食者”操作员使用的用户界面是工程师针对自身特点设计的。例如，重要的飞行数据大多仅以数字的形式显示在屏幕上，而没有采用刻度盘或飞行员熟悉的其他形式。尽管飞行员可以使用传统的操纵杆，但主要的互动工具是键盘和鼠标（或跟踪器），还有一个多达五级的复杂菜单系统。如果在错误的时间敲击错误的键，就很有可能导致软件锁死或者引擎熄火。

Big Safari机构用比较小的代价，很快将样机研发成一个可以列装部队的系统，但直到很多年之后，“捕食者”无人机才真正被美国空军与后勤保障系统接受。“捕食者”无人机的飞行指南长达1 500多页，其中还遗漏了一些关键信息。适合飞行员阅读的标准清单包含198张索引卡。

美国空军需要为操作“捕食者”无人机寻找合适的飞行员来源。1995年，美国空军重新激活了一个处于休眠状态的机构——第11侦察中队（该中队曾经在越南操纵无人机完成侦察任务，直到20世纪70年代任务终结），在一名有等级的飞行员（“有等级”是美国空军的行话，指有资质的机组人员，包括飞行员和导航员等专业人员）率领下，学习操作“捕食者”无人机。具有讽刺意味的是，第11侦察中队的驻扎地是内华达州的内利斯空军基地，它在美国空军的地位就相当于美国海军战斗机武器学校在美国海军中的地位。

与那里的精英飞行员不同，第11侦察中队大多是“捕食者”无人机的空中加油机和运输机飞行员。他们孤零零地躲在沙漠里，感觉自己

被飞行员的圈子遗弃了。在接受任务之前，很多人甚至根本没听说过“捕食者”无人机。他们没有从通用原子公司那里拿到使用手册、说明书或者操作指南，而且他们发现为他们做培训的陆航直升机飞行员，也是通过口口相传的方式学会操控这套系统的。

由于缺少正式文件和程序说明，整个中队陷入了一片混乱，进而导致士气低迷。第11侦察中队的成员在拉斯韦加斯城外基地的入口处张贴了一张“被抛弃者隔离区”的标语。

非武装战术监视与侦察任务在美国空军内部的地位本来就不高，“捕食者”的无人驾驶飞机这个身份使他们的社会威望更低。“捕食者”无人机仍然像一个玩具。第11侦察中队的大多数飞行员最大的愿望就是这个任期早点儿结束，以便他们能早日回到他们之前驾驶的飞机上。空军只能诱之以利，比如许诺为他们的下一个任期安排满意的工作，以此哄骗他们操控“捕食者”无人机。即便如此，许多飞行员宁愿终止职业生涯，离开空军，也不愿意操控“无人驾驶飞机”。同意操控“捕食者”无人机的飞行员，后来去担任有人驾驶飞机飞行员的寥寥无几。

人员安排问题最终演变成角色与身份的矛盾，以及飞行体验模式冲突的问题。“捕食者”无人机的飞行员是否会继承美国空军以技术、勇敢和指挥闻名的高贵传统呢？他们是不是躲在一个偏僻的位置，坐在舒适的椅子上，眼睛盯着计算机，点击按钮，换言之，他们承担的是不是系统监控员的工作呢？

这些不仅仅是心理问题，它们对飞行员的职业发展和工资收入有实质性影响。“捕食者”控制小组成员的培训和职业标准拖延了几年时间才被制定出来，这是因为在这些人员应该被定义为“机组人员”还是“空中载具操作人员”的问题上，人们的意见无法统一。在美国空军，机组人员指的是飞行员，可以拿飞行津贴，战时甚至可以拿到更多的津贴，而“空中载具操作人员”则不享受这样的待遇。在军队的社

会结构中，在前线作战的“真正”的战士，与成千上万的支持人员有本质上的不同。但是，“捕食者”无人机为军队新增了远程作战的战士，从而减少了这种泾渭分明的区别。

飞行员把军用飞机的计算机化和技术变革看作一件理所当然的事。事实上，自从第一次世界大战中“王牌飞行员”这个形象被创造出来并得到大肆宣传，他们的工作就没有安稳过。20世纪三四十年代，自主驾驶仪、计算机控制投弹瞄准器和无线导航应运而生。在20世纪50年代，喷气式飞机催生了大量发明，偏航阻尼器、增稳系统以及战斗机截击地面控制台等电子元器件，把飞行员的任务分派给了其他人员和机器。20世纪70年代，F–15战斗机的高端雷达和数字计算机把飞行员从操纵杆控制人员转变为认知信息处理人员。如果F–15战斗机的飞行员可凭肉眼看到敌军飞机，这只能说明他与敌军的距离太近了，而且这是一场异常危险的战斗。

在1991年两伊战争中，F–117隐身攻击机的飞行员因为对重兵防守的巴格达实施了空袭而被奉为英雄。事实上，在这些轰炸航路中，F–117隐身攻击机的飞行员们选择了自动飞行模式，由计算机控制飞机按照事先设计的航线飞行，以躲避敌军雷达的探测，而飞行员的主要任务则是监视飞行时间和航径。他们紧紧地盯着显示屏，通过虚拟鼠标点击电子图像，让激光瞄准器瞄准目标。从认知角度来看，这些任务与后来“捕食者”无人机飞行员所完成的任务非常相似，两者之间的重要区别就在于F–117隐身攻击机飞行员身在驾驶舱中。

早些年，“捕食者”无人机的飞行员有三个来源。这些飞行员绝大多数都受过飞行员本科训练，有的飞行员毕业之后飞过其他机型，有的飞行员则直接开始操纵“捕食者”无人机。“捕食者”无人机的飞行员也有可能来自从事其他空勤工作的人员，例如导航员、电子战军官或武器系统军官（陆军和海军陆战队都安排士兵操控“捕食者”无人机。他们的“捕食者”无人机在其他方面与空军一样，除了自动化程度略

高）。没有定级的飞行员则需要美国联邦航空管理局为其评定民用航空飞机飞行员等级，主要目的是让他们可以在靠近民用空域的美国本土操控“捕食者”无人机。

当然，这三种不同的来源也决定了他们的驾驶技术水平与态度有所不同。评定过等级的飞行员可能对航空文化和程序都非常熟悉。此外，依据所接受飞行训练的等级水平，他们还不同程度地掌握了一些手动飞行的技术。但是，他们也可能因为自己操控的是无人机而感到内心愤愤不平，渴望回到“真正”的驾驶舱中。

以一位典型的飞行员为例（我们姑且称他“约翰”）。约翰曾经是F–16战斗机的飞行员，但出于身体原因停飞了。要想继续担任飞行员，操控“捕食者”无人机是他唯一的选择，因此他迫不及待地抓住了这个机会。在被问及训练中遇到的最大难题是什么时，约翰明确地答道（许多民航飞行员也有同样的感觉）：“是人机交互的界面……我感觉自己就像重新开始学习飞行一样。”

在这个阶段，许多“捕食者”无人机飞行员对自己的工作并无热情，他们仍然希望可以回到以前的飞机上。遥控驾驶肯定不会给他们带来从战场上空飞掠而过的那种刺激感，也不会带来很高的社会声望。

一些最成功的“捕食者”无人机飞行员，之前都是有等级的非飞行军官。被调去操控无人机之后，他们可以拥有飞机的控制权，而在非飞行员的传统岗位上，他们永远无法得到这个权力。这些“捕食者”无人机飞行员可能飞行经验不足，对飞机的熟悉程度不高，但由于他们的飞行体验没有比较对象，因此他们可能会更好地适应这种不寻常的遥控驾驶飞机体验。

机组人员身份的不稳定性反映出“捕食者”无人机的身份也不稳定。“捕食者”无人机是作为ISR系统（美国空军术语，意思是“情报、

监视和侦察”）来构思设计的，这意味着它的操作与间谍飞机相似，需要拍摄航空相片。的确，U–2间谍飞机就是效仿了捕食者的数据处理方法，把拍摄到的照片和雷达影像传送至基地进行数据分析，再将分析报告转化成适合情报工作的形式。

但是，“捕食者”无人机与传统的侦察机有一个明显区别。传统侦察机是通过静止图像观察目标，包括建筑物、建筑场地和部队的集结等。与之不同的是，“捕食者”无人机拍摄的视频可以动态地展现人类的行为。

“捕食者”无人机的机组人员发现，他们驾驶无人机跟在卡车后面穿过拥挤的街道，那些毫无戒心的卡车驾驶员就有可能把他们带到藏匿武器或者人员的地方。他们圈出一些建筑物，然后密切监视进进出出的那些人。他们认真地观察战斗中的部队，并实时采取支援行动。

处理侦察照片的传统社会结构不能满足实时解读和储存信息以备后期分析的需要。一位早期的“捕食者”飞行员发现情报分析人员把视频画面打印成2厘米×2.5厘米的照片时不由得大吃一惊。尽管情报人员的做法是航空侦察的标准程序，但在这位飞行员看来，该数据最核心的意义就是其动态特征。

在“捕食者”无人机刚被允许使用的时候，美国国防部不同意它们直接接入保密网。因此，操作人员建立了一个独立的“任务操作单元”（其实就是在“捕食者”无人机拖车的外面搭建了一个帐篷），用来接收并对视频内容进行数字化处理，然后接入安全网络，传输给情报分析人员（但这会大大降低视频的质量）。

在被部署到巴尔干半岛后，不仅是这些视频内容，连整个“捕食者”无人机系统都要通过一个“空中网闸”与全球网络分开。目标坐标通过软盘传送至控制室，或者由一些穿运动鞋的人走进去报出读数。在接收端，观看视频的人看到的是支离破碎的内容，几乎不可能向无人

机及其传感器做出回馈和发送指令信息。同样，飞行员和传感器操作员也不知道自己在整个侦察活动中到底扮演了什么角色。

在这种早期结构中，为了与前线飞机建立通信联系，“捕食者”无人机的机组人员只能通过一系列语音中继，费力地报出目标坐标或者对目标进行口头描述。杰普将军嘲笑地说这是“聋子之间的对话”。

“捕食者”无人机操作人员必须克服无人机早期身份认同的各种后遗症，改变无人机的形象。在达成这个目标的过程中，发挥更大作用的不是无人机驾驶方面的创新，而是无人机融入全球军事体系这个事实。

最早的创新是在无人机的机身上添加新硬件。巴尔干半岛的所见所闻给杰普将军留下了深刻印象，在回国担任空军空中作战司令后，他便开始推动“捕食者”无人机的改良工作。

“捕食者”起初的传感器里有三个摄像头，可以发现并非常细致地观察目标，但是，机组人员必须费九牛二虎之力才能让画面保持静止不动。通过某种方法，机组人员可以从影像中提取地图坐标，但得到的数字可能有多达800米的误差。在操控十字准线“飞行”几个小时之后，传感器操作员就会感到腰酸背疼，需要休息一会儿才行。

“捕食者”无人机还具有我们在“杰森”机器人身上发现的那个微妙优势。与载人系统相比，“捕食者”无人机不需要载人级别的安全认证，因此改造和扩建工作耗时少、成本低。1999年，根据杰普将军的命令，Big Safari机构和通用原子技术公司用了几周时间，为“捕食者”安装了一个最先进的传感器，里面的光学仪器性能也有了大幅度的提高。新的传感器可以结合无人机的导航数据，使摄像头自动锁定一组地面坐标，即使在无人机运动、转向时也不会跟丢目标。计算机追踪模式可以将一幅图像锁定在屏幕中心位置，然后将准确的地图坐标发送给其他飞机。由于传感器操作员每次当班的时间比以前长，因此

他们可以提高自己的技术，通过微调敏感的多功能摄像头，在多变的条件下捕捉到理想的画面。

新式传感器还有两个激光头。其中一个激光头可以照亮目标，确定与目标之间的距离，从而在系统从影像中提取地图坐标时使其精度提高一倍。它还可以制导武器，例如制导另一架飞机投放的炸弹。另一个激光头可以向感兴趣的目标“闪光”，从而与地面的友军部队建立通信联系，让戴红外眼镜的地面部队可以精确地发现“捕食者”无人机“盯住”的物体。“捕食者”操作人员还可以通过另外一些创新举措，将视频资料直接传送至其他飞机或地面部队的移动显示器上，也可以通过无线电链路同他们直接交谈。

进入新世纪之后，无人机的发展历程同本·拉登的命运，以及美国的新型战争交织在一起。1998年，本·拉登的恐怖组织袭击了美国驻非洲大使馆，美国为了反击而实施的一系列巡航导弹打击都未能击毙本·拉登。这件事引起了美国中央情报局的关注，他们开始追踪本·拉登的行踪，为将来对其发动突然袭击做准备。

“捕食者”无人机似乎是秘密观察本·拉登在阿富汗的训练基地的理想工具，但是“捕食者”无人机的巨大天线，以及与飞机一起前往匈牙利的影像分析小组肯定会引起敌方的注意，造成不可挽回的后果。因此，美国中央情报局和美国空军做出了将“捕食者”无人机控制小组“化整为零”的决定。

一个由美国中央情报局、美国空军和承包商人员组成的小队，携带“捕食者”无人机，在乌兹别克斯坦开了一家商店。他们将操控飞机从当地起飞，在飞往目的地的路上将“捕食者”无人机的通信频道切换至卫星链路，使位于德国拉姆斯泰因美国空军基地的另一个地面站也可以控制这架飞机。在拥有控制权之后，机组人员就可以操控飞机，指挥传感器，接入加密通信网，同位于弗吉尼亚的美国中央情报局总部直接交换视频和进行语音通信。

从2000年夏天开始，“捕食者”无人机飞到了阿富汗的上空。2000年9月27日，在第7次飞行过程中，他们发现了一个穿白袍的高个子男人，还有一些身高不及他的人围在周围，应该是警卫或者随从。这个人就是本·拉登（后来，视频资料分析表明，“捕食者”无人机实际上在一个月之前就已经发现本·拉登了）。尽管本·拉登自称对美国开战，尽管美国军方前期有过击毙本·拉登的努力，但这一次美军没有采取任何行动。

同一年，约翰·杰普接任了美国空军空中作战司令一职。他对于“捕食者”无人机在科索沃只能眼看着事态发展却无法采取行动的往事仍然耿耿于怀，因此下令Big Safari组织为“捕食者”无人机装备武器。这道命令从根本上改变了“捕食者”无人机的特点。

工程师们最终选择了陆军的“海尔法”机载反坦克导弹，这是因为这款导弹最初是为直升机打击坦克设计的，体型很小，可以悬挂在“捕食者”无人机的机翼下方，而且不会对飞机造成太大的影响。这些45千克重的超声速导弹（本身就是由人操控瞄准的无人驾驶飞行器）可以在激光指示器的引导下，以非常高的精度瞄准目标，然后引爆一枚不大（4.5千克）但是致命的弹头。2001年2月，人们第一次尝试用“捕食者”无人机发射“海尔法”机载反坦克导弹，相关设计改进工作一直持续到年底。

在“9·11”恐怖袭击事件发生之前，美军和美国中央情报局担心这种远程触发“捕食者”无人机发射导弹，夺取他人生命的做法不道德，甚至违法。于是工程师们一度在“捕食者”操控台上安装了一个红色的遥控开关，由指定的中央情报局人员而不是空军飞行员，根据特定的合法授权打开开关（但是，这个遥控开关从未发挥作用）。2001年夏，美国国家安全委员会决定不使用武装型“捕食者”无人机追踪本·拉登。

而且，他们认为不通知德国政府就在该国执行这种战斗任务，将会在政治上、法律上引发麻烦。为了克服这个制约因素，Big Safari组织的工程师们通过跨大西洋光纤电缆，增加了“捕食者”无人机地面控制站与卫星上行链路之间的有效距离。现在，通过“远程分工”操作，操作人员在美国境内就可以完成所有工作。这个办法至少消除了一部分政治影响。“捕食者”的最终配置是调动了一系列技术潜能和社会关系之后取得的成果。

2001年9月11日，美国遭到了恐怖袭击。此时，激光发射器、导弹和远程分工刚刚形成合力，帮助“捕食者”无人机跌跌撞撞地走过了“懵懂的青春期”。

“捕食者”无人机被迅速部署到中东地区。2001年9月15日，美国中央情报局的一支着陆与回收小分队来到乌兹别克斯坦境内，与阿富汗边境线比较接近的一个地方。9月18日，一架武装型“捕食者”无人机率先进入阿富汗的空域。10月7日，在美国对塔利班实施空中打击的第一个晚上，一架武装型“捕食者”无人机在战斗中发射了第一枚导弹，目标是美国军方认为塔利班领导人毛拉·穆罕默德·奥马尔可能藏身的一些建筑物。不过，由于美国中央情报局和空军都不清楚如何操控这种全球分布式武器，导致这次作战行动出了差错，奥马尔则乘机逃之夭夭。

不过，“捕食者”无人机拍摄的视频再一次被证明具有令人着迷的魔力。这一次，时任美国总统的小布什成了它的热心观众之一。在随后不久发生于阿富汗境内的战争，以及后来在伊拉克境内发生的战争，都证明了“捕食者”无人机有能力为美国地面部队提供支持。从此以后，人们再也不能把这套系统只看作一个实验项目了，它的后续升级必须由参战部队和“捕食者”无人机研发团队完成。整个研发团队在操控节奏不断加快、影像需求不断增长的压力下只好马力全开，把升级工作做到极致。

激光发射器、导弹和远程分工把“捕食者”无人机从“左顾右盼的眼睛”变成了全球性武器，对它的机组人员也产生了深远的影响。他们再也不是只能看着飞机按照预定航线盲目飞行的操作人员，而成了可以冲锋陷阵、英勇杀敌的“战士”。由于军队在战时非常看重参战经历，可以使用“战士”这个词，说明他们的地位提升了。但是，这些变化也让他们的职业认同变得更加复杂。在操作时，他们不仅要进入有空调、不见光的拖车里，还要离战场远远的，这与人们普遍认可的战场英雄的概念不太吻合。

随着任务从战场观察转变为打击敌人，他们的专业水准也得到了提升。对于这个变化，这些身份复杂的机组人员是持欢迎态度的。不过，要想取得成功，他们必须在军队中找到一个新位置，用他们手中的机器去完成新任务，并与身边的战友缔结更加密切的关系。在美国领土上有安全保证的空军基地中找到新阵地后，“捕食者”无人机的机组人员可以获得大量数据和带宽资源。事实证明，“驾驶”半自动化飞机所需要的技术已经不那么重要了，排在它前面的还有网络、数据认知和视频内容解读技能等。

为了研究人们在远程操作中到底是如何分工合作的，我所在的麻省理工学院研究小组的另一名成员、博士生蒂姆·卡伦针对“捕食者”和“死神”无人机操作人员，以及他们的社会网络、组织文化、工作经验等进行了一项人口研究。通过总耗时近160个小时完成的180次采访，他与50名飞行员、26名传感器操作员、16名工程师，以及包括影像分析师、程序管理人员和政策制定人员在内的近50名其他人员进行了交流。他还观摩了训练任务的实施情况，操作了“捕食者”无人机模拟飞行器，参观了无人机的工厂装配线。卡伦本人曾是空军军官、F–16战斗机飞行员（在波斯尼亚参加过战斗），因此他既可以融入“捕食者”文化，还可以比较“捕食者”文化与有人驾驶飞机文化的异同。

卡伦的研究目的是了解“捕食者”无人机操作人员对这份工作的认识和看法，以及这些飞机和系统是如何在一个整体中发挥各自的作用的。过去，人们普遍以为这些操作人员都是各自为战，一个个埋头处理显示器上的抽象符号。但是，研究结果表明，我们有必要改变这种看法了。

卡伦发现，无人机操作人员都不愿意充当“躲在黑房子里操控按钮的隐形机器人”，而迫切希望自己能成为“受人尊重的武器系统当中具有掌控权而且适应能力很强的一部分”。他们的社会关系远远超出了地面控制站的范围，并且建成了庞大的人际关系网。他们克服了手中系统的严重局限性（这些系统是针对另一个时间和另一个任务设计的），努力学习远程作战的方式。这些带给他们的战争临场感是任何高清传感器都无法提供的。

卡伦的研究让我们把注意力重新投向“捕食者”无人机的控制室。具有讽刺意味的是，尽管“捕食者”无人机散发着高科技的光芒，但它也是一场人因噩梦，集中体现了无人机操作人员由来已久的身份认同问题。两名飞行员在集装箱或者建筑物中操控“捕食者”无人机，他们使用的控制台看上去完全不像新式军用硬件，而更像一位工程类本科生在学期研究项目截止日期到来的前一天晚上胡乱拼凑成的一套设备。

在操控“捕食者”无人机时，两名主要操作人员必须监控16台显示器，利用4台触摸屏进行人机交互，在4个键盘上输入指令，此外还要操控两个跟踪器、两个操纵杆和8个操作手柄。主操纵杆和油门在控制台上的位置非常高，长时间使用会让操作人员疲惫不堪。多年来，有人驾驶飞机的驾驶舱已经变得非常简洁了，而“捕食者”无人机控制台上则鳞次栉比地排列着各种各样的显示器和控制装置，令人眼花缭乱，就像20世纪90年代的人在面对个人电脑和下拉菜单时表现得无所适从一样。

“捕食者”无人机飞行员下达一个指令之后，需要经过接近两秒钟的时滞才能看到飞机执行这条指令。机组人员的工作台在设计之初没有考虑舒适度的问题，长时间执行任务会让他们感到十分疲劳。2011年的一项研究认为，“捕食者”无人机糟糕的界面甚至比战斗压力更让机组人员感到疲惫。

人们常常认为“捕食者”驾驶舱是低劣工程技术的产物，忽视了人类工程学，而且政府选择的承包商能力不足。但实际上它代表了一个了不起的革新过程所取得的成果：无人机最初是为完成一项完全不同的任务而设计的，而使用者和操作人员成功地把它改造为一个可以远程作战的全球性系统。

在“捕食者”的控制室里，坐在飞行员旁边的传感器操作员一度相当于一名副飞行员。传感器操作员由士兵担任，军衔比军官出身的飞行员低，但卡伦发现很多操作员对这份工作非常满意，仿佛他们从事的是美国空军最好的工作。在稍加培训之后，他们就得到了操控昂贵装备、发射高科技武器的机会。

空军的副飞行员有过一段不愉快的历史。战斗机飞行员的神秘感有一部分源自他们可以独立驾驶飞机、拥有完全指挥权这个特点。多年来，空军只有为数不多的几款战斗机设有专门操作雷达和传感器的后座人员（如越南战争时期的F–4“鬼怪”战斗机）。副飞行员的地位一直比较低，被人嘲讽为“坐在后座上的家伙”。20世纪70年代，在F–15战斗机问世之后，这个“坐在后座上的家伙”被踢出了驾驶舱，操作雷达的工作由飞行员一并完成。令人意想不到的是，在20世纪80年代末问世的F–15战斗机的后续机型——F–15E中又恢复了这个后座人员的位置，他的任务与“捕食者”无人机传感器操作员十分相似。但是，F–15E战斗机的后座人员由军官担任，而“捕食者”无人机传感器操作员通常是几个月前才走出中学校门的士兵。

单座战斗机瞄准吊舱的红外成像传感器是通过飞行员右手操纵杆上的几个按钮控制的，图像显示在一个小型显示器上。被调去驾驶“捕食者”无人机的战斗机飞行员有时会感到奇怪，美国空军为什么要花费宝贵的资源，训练他们“用大拇指和小拇指完成他们已经无比熟悉的工作”。不过，担任传感器操作员的士兵却有很强的沉浸感，而且还能培养解读图像的专业技能。2001年，有一个说法得到了人们的普遍认同：“每有一名心怀不满、期盼两年后可以再次驾驶有人驾驶飞机的‘捕食者’飞行员，就有10名感觉生活非常美好的传感器操作员。”

说到远程分工操作所需要的新技能，一位由驾驶F–16战斗机改为驾驶“捕食者”无人机的飞行员说：“我的周围到处都是显示屏——准确地说，有6台……还有电话。”他必须自行摸索如何一边驾驶无人机，一边接电话，还要记录进攻命令。他回忆说：“在驾驶F–16战斗机时，我可以从座舱罩上沿观看当时的战斗情况。在驾驶‘死神’战斗机时，我可以将坐标输入传感器，然后转动吊舱，对准这些坐标。”

在完成远程分工操作时，无人机停在战区之内。大约50人的“着陆与回收小队”负责维护飞机，地面控制室里的一名飞行员利用操纵杆，通过本地无线电链路操控飞机完成滑行和起飞等动作。不过，在起飞之后，飞机很快就打开自主驾驶仪，然后按照预设的一组航点飞行。接下来，机组人员通过文本信息或者电话与后方协调，将控制权通过卫星链路转交给在美国境内（刚开始时在内华达州的印第安泉，2005年更名为克里奇空军基地，后来搬至其他地点）的远程操作人员。

远程“任务控制小队”大约有50人，其中包括10名飞行员和10名传感器操作员。还有一名“任务情报协调员”坐在附近的一个拖车里负责观看链路连接的显示器，帮助机组人员了解他们在更大规模的行动中所处的位置。

通过远程分工节点，“捕食者”无人机拍摄的视频可以在网络上广泛传播，有时甚至可以从地球的另一端传送回美国。虽然已经拥有这

些高科技链路，但还需要近百名其他人员来完成数据的处理、检查和分发等工作。此外，很多地方（例如，弗吉尼亚州兰利空军基地的“分布式通用地面站”）都安排了大量分析师挤在一个个房间里，为一天24个小时汹涌而来的数据和视频资料编制目录，并进行分析处理。与将所有人手部署到战场的做法相比，远程分工肯定可以节省人力、物力、财力。尽管如此，美国空军还是很快放弃了“无人驾驶”这个表达，转而用“遥控飞机”这个词来表示“捕食者”系统，其中的原因并不难理解。

远程分工同样让机组人员的工作内容发生了变化。进入交战地带的“捕食者”机组人员曾经是将新科技应用于战争的先锋部队，现在却成了执行重复性任务的常规操作人员（尽管他们仍然会处理一些本地任务，例如监控他们所在基地的安全状况）。有经验的机组人员只需修改网络地址，就可以在克里奇基地（或者是位于美国密苏里、美国关岛、韩国等地的其他基地）执行伊拉克、阿富汗等地的远程任务。

此外，由于远程操作需要的传统飞行技术相对较少，因此机组人员发生了一些变化。截至2004年，那些参与远程分工操作的人员再也不需要学习无人机的起飞和着陆技术了。这两项技术对于飞行员的技术水平和身份认同来说至关重要，在之前的训练大纲中几乎占据了1/3的比例。不要求飞行员掌握这两项技术相当于降低了训练要求，也有利于空军为“捕食者”无人机安排飞行员（现在，遥控飞机飞行员的培训成本大约是有人驾驶飞机飞行员培训成本的1/10）。但是，摒弃这些经典手动飞行技术的做法，进一步加大了“捕食者”机组人员与传统“飞行员”的职业差异。

战争压力也会减弱机组人员对改装整个系统的顾虑。伊拉克战争开始后，他们着手对地面控制台进行了改造。2003~2006年，地面控制台发生了很大的变化。由于通用原子技术公司对“捕食者”无人机拥有专利权，因此操作人员不能进入软件内部，大部分的创新工作都是给

系统添加新内容，例如安装开源软件、加装显示器，或者在设备机架上添加新设备等，而不是改变生产商提供的核心编码。到了2005年，“捕食者”控制台上除了原厂显示器以外，又增加了6台LCD液晶显示器。

新加装的设备包括一些台式电脑和笔记本电脑，其中装有虚拟电子白板和连接加密军网的窗口。例如，在美国空军内部得到广泛应用的FalconView任务规划系统，是战斗机飞行员编写的开源软件，用于任务的计划与跟踪。最初，“捕食者”机组人员添加FalconView任务规划系统是为了给身在另一个房间的任务情报协调员的显示器提供镜像服务。但最后，他们安装了两台分别配有键盘和跟踪器的FalconView任务显示器，一台供飞行员使用，另一台供传感器操作员使用，把他们的任务显示在显示器的屏幕上。“捕食者”机组人员还编写了FalconView插件，可以把“捕食者”拍摄的视频内容或者导航航向添加到地图和卫星图像上。

开源软件mIRC，亦称mIRC–chat，是另一项关键的用户创新（同时使控制室中的显示器的数量又有所增加），可以在军网上通过安装有Windows系统的个人电脑完成简单的基于文本的聊天任务。随着美国军方朝着“网络中心战”的方向发展，开源软件mIRC在美国军队中流行起来，影响力甚至触及野战环境中的地面部队。事实证明，开源软件mIRC可以通过网络，在参加远程分工操作的“捕食者”无人机机组人员与情报分析人员，以及其他人之间建立起有效的联络通道。

滚动文本信息的聊天形式不像语音电话那样需要人们一直关注，还能保留交谈记录，非常适用于“捕食者”无人机。聊天室发挥的作用非常重要。“捕食者”无人机组人员在执行任务时通常会同时监视8~12个对话，有时甚至多达20个。通过这些对话，他们可以与空中或者地面上的影像分析人员、指挥官、律师、将军等建立联系。

对“捕食者”无人机的多个演化过程实施监控的美国空军的戴维·德普图拉将军说，远程分工“从根本上帮助遥控飞机把指挥分析中心和法律顾问纳入了有效载荷”。如果机组人员忙于执行其他任务，他们就可以暂时不管这些对话，等到工作负荷允许时再予以关注。机组人员经常说的一句话非常有道理：“‘捕食者’无人机的飞行员从来都不是一个人在战斗。”

但是，这种聊天方式也有我们都非常熟悉的网上对话的通病。在网络聊天中人们都会使用用户名，而不是真实姓名。用一位操作人员的话来说，由于这种匿名性，“大家都变成了尖酸刻薄的网络恶霸”。而且，网上聊天的速度比较慢，还有一定的时滞。一名操作人员说：“看到从房子里走出来的那个家伙手上拿着AK–47突击步枪，我就知道这是一个有效目标，但我需要花点儿时间才能在mIRC里输入：‘嘿，伙计，他拿的肯定是AK–47突击步枪。赶紧呼叫JTAC（联合终端攻击控制员），在这个家伙开车逃跑前抓住他。’”此外，在情况瞬息万变时，聊天室的文本信息会滚动很快，让机组人员来不及接收信息。

尽管有许多局限性，但聊天可以增强“捕食者”无人机机组人员的存在感，虽然这种存在感会产生一些不同寻常的效果。多少有点儿匿名味道的信息往往会消除军衔等级的影响，在一定程度上平衡了对话双方的社会地位。不过，这个特点可以推动机组人员更深入地阅读这些信息。

匿名用户有可能在关键时刻发表评论。例如，在机组人员准备发射导弹时，用户报告说他们看到“同意”“立刻发射”“终止行动”“儿童”等信息。这就好像网络上的所有人都对最后是否行动拥有表决权。在战斗如火如荼地进行时，“捕食者”无人机机组人员不仅需要解读十字瞄准线锁定的画面和人物的行为，还要分析从网络上传输过来的社交信号。

远程分工可以帮助“捕食者”无人机的操作人员融入广泛的网络，但无法解决他们的孤立感问题。事实上，远程分工让这些操作员远离战区，而不是与他们的战友并肩作战、共担危险，这有可能让他们彻底丧失临场感。不过，这些新的通信方式确实可以促使社会组织结构发生变化，使这些远离战场的机组人员产生一种新的临场感。

“捕食者”无人机的机组人员大多没有去过伊拉克和阿富汗，即使有人去过，活动范围也大多局限在空军基地附近。但是，他们细致地观察过这些地方。一位飞行员回忆说：“一旦大家知道如何使用‘捕食者’（或者‘死神’）无人机，知道它们可以完成哪些任务，他们就会把无人机用到极致。他们希望我们观察友军部队；希望我们监控FOB（前方作战基地）以策安全；希望我们全天候盯着某个山口，看是否有人从那儿经过；希望我们盯着某个市场，确保没有可疑行为出现；希望我们扫描他们第二天要走的那条道路，确保没有埋设简易爆破装置。”

这个新定位明显认为无人机无所不能（虽然这仅仅是一种错觉），还可以窥探秘密。因此，机组人员承受了巨大的压力，在监控叛乱者和平民目标时需要求助于新技术。他们发现，在红外线摄像头下，点燃的香烟会发出明亮的光，因此一片明亮的光点往往表明这个地方正在进行某种集会。至于哪些行为有威胁性、哪些行为是不正常行为，这些都属于判断问题，是对行为和意图的评估与猜测。机组人员没有接受过这方面的培训，目前的自动化系统也都无能为力。

在得出判断结果时，远程分工操作员不仅希望了解无人机中继信息，还希望了解地面局势，因为他们不仅需要了解屏幕上显示的情况，更需要了解事情的来龙去脉。这些信息只能通过分析出现在网络上的人来萃取，分析对象包括他们所支持的或者说以虚拟方式并肩作战的地面部队。不过，与战斗关系最密切的那些人并不关心这些，他们只希望了解他们周围正在发生的情况。

在伊拉克战争持续了几年之后，一名飞行员（下文称“史密斯中校”）接任了“捕食者”飞行中队的中队长一职。史密斯中校驾驶过A–10“疣猪”攻击机，这是美国空军用来攻击地面目标的喷气式飞机，外形非常难看。史密斯发现，他所率领的“捕食者”飞行中队是一个“令人沮丧压抑的团队”，操作人员的士气十分低迷。几年来，操作无人机的节奏加快了一倍，机组人员疲惫不堪。更麻烦的是，机组人员常常搞不清楚他们到底在执行什么任务。地面部队不愿意解释他们正在采取什么行动，也不愿意说明他们寻找某个目标的原因。他们只是让“捕食者”无人机的机组人员操控飞机，跋山涉水飞到某个遥远的地方，调整好传感器，盯着某个建筑物或某个人。在随后的几个小时里，他们有可能彻底忘记这件事。于是，“捕食者”无人机组人员觉得自己就是“以聊天方式激活的传感器”，而且头脑中的那个“大大的问号”得不到解答。史密斯发现，他们需要“为信息背景而战”。

史密斯来到伊拉克，希望说服那里的部队，让他们相信“捕食者”无人机机组人员的专业知识可以让这套系统发挥最佳效用。他说，这些机组人员可以接入美国的网络，获取大量地面部队无法获得的信息，而且他们可以通过飞机上的无线电装置与地面部队分享其中的部分信息。史密斯认为，如果他的机组人员可以更深入地了解进行中的任务，就能提供更高质量的支持。史密斯呼吁地面部队指挥官要信任“捕食者”机组人员，为他们提供必需的信息。

通过这次伊拉克之行，史密斯与“捕食者”团队未来支持对象的指挥官建立了私人关系。他接触的那支部队从伊拉克回到美国之后，造访了“捕食者”飞行中队，与机组人员见面并观摩他们的操作。从此以后，该部队开始提供更多的信息，并对行动目的做出详细说明。之后，“捕食者”无人机机组人员的士气有所改观。

2004年前后，“捕食者”B型无人机（即“死神”无人机）问世，截至2015年，该机型已经在所有“捕食者”无人机中占近半数的比例。在这

个过程中，“捕食者”无人机的机组人员变得更积极、更专业。“死神”无人机是“捕食者”无人机高度改良后的产物，体型更大。尽管这种无人机的地面控制台仍然像之前一样受到各种限制，但它们飞行的高度、距离与速度都增加了一倍，携带武器的数量与种类也比以前多了。

技术变化再一次引发了职业变化。“捕食者”无人机的操作人员与运输机飞行员比较相似，而“死神”无人机机组则主要由战斗机飞行员组成。他们认为自己的工作更讲究战术，使用的是“战术思维”，这意味着他们与战场上的士兵之间建立了一种更加紧密的合作关系。“死神”无人机飞行员希望改变他们的工作内容：他们的任务不是“操控传感器”，而是“使用瞄准吊舱瞄准目标”；他们不是在完成“情报、监视和侦察”任务，而是与战斗机和轰炸机机组人员一样，在用飞机完成“非传统”的情报任务。

“捕食者”无人机的机组人员与JTAC（联合终端攻击控制员，是空军派驻陆军部队的人员，可以为“捕食者”无人机与其他飞机指示攻击目标）建立了亲密的关系。友军不再将“捕食者”无人机看作悬浮在天空中为幕后情报机构提供情报的“空洞的眼睛”，而是战场支持系统的一个组成部分。

在作战环境中，利用语音结合图像的方式与联合终端攻击控制员建立联系，同样有助于“捕食者”无人机机组人员产生临场感。在战斗中，他们能听到枪炮声；在部队跑向掩体时，他们能听出士兵说话声音中的紧张情绪。在隐蔽时，联合终端攻击控制员说话的声音很轻，“死神”无人机的机组人员在交谈时也会不由自主地压低声音。“捕食者”无人机的机组人员经常反映，与地面部队（特别是联合终端攻击控制员）交流是最能给他们带来满足感的工作。

不过，这种临场感有其局限性，会把我们的注意力引向人工自然。这种临场感是通过美国人的镜头获得的，这可能是最明显的一个

原因。在“捕食者”无人机操作员同战场之间建立联系的视频、聊天室和语音链路都是一种单向观察世界的方式。另外，从镜头中看出当地人的意图、身份，并不是一件容易的事，年龄和性别有时也难以判断，这是“捕食者”无人机造成平民伤亡的主要原因。

有一次，“捕食者”无人机的机组人员草率地判断一个凌晨出行的卡车车队运载的是暴乱分子。事实上，卡车里的人是一家人，打算前往某地出席一个婚礼。结果，这个错误导致了23名平民丧生、16人受伤。造成这个错误的原因并不是显示屏的分辨率不够高，以至于机组人员难以看清这些人拿着的是枪还是铁锹，而是因为他们在观察和判断时有一种心理预期，而且他们把这种预期与事实混为一谈。

监督调查这一事故的美国空军少将詹姆斯·O·波斯认为：“有时，技术会给我们一种错误的安全感，让我们误以为自己能看清一切、听清一切、了解一切。”事后，美国空军禁止“捕食者”无人机的机组人员使用“参军适龄男子”的说法，因为这个表达暗示所有成年男子都是他们的敌人。

友军的意图有时也难以捉摸。一次，一群暴乱分子从着火的建筑物里跑出来，其中一人缩成一团，倒在路边。美国地面部队的士兵做出了响应。“捕食者”无人机操作人员看到一名美国士兵走向这名暴乱分子，然后他后退几步，端起枪，将这名暴乱分子击毙了。于是，“捕食者”无人机飞行中队提交了一份申诉报告，指责这名士兵违反了战争法。但是，调查结果发现，这名暴乱分子当时正准备引爆他身上穿着的自杀式炸弹背心，这名士兵才开枪打死了他。一名“捕食者”无人机的飞行员意识到：“你眼前看到的是一个二维世界，而且你只有一个20度的视场。如果忘记这一点，你就会自以为对周围的情况了如指掌，但实际上你连指挥官下达的命令都听不见。”

当然，这些错误，包括对生命的漠视，亲赴战场的士兵也会犯。虽然远程分工作战造成平民伤亡的准确数字难以统计，但做过这方面

研究的人发现，这个数字与其他武器误伤的平民数量相仿。但是，“捕食者”无人机造成的这些错误都被以视频的形式记录下来，从而引发人们对机器人攻击人类的担心。

已经有大量的论述和著作讨论了“捕食者”飞行员未亲临战场的问题。每天，这些飞行员上班的任务就是打仗，下班回家后则过着正常的生活。这种现象并不新奇。事实上，长期以来，空军机组人员的生活起居一直远离战场，而且生活环境比正在战场上作战的战友们更加舒适。当然，“捕食者”无人机的机组人员与一般的机组人员有一个不同点：他们不用以身犯险，亲自驾驶飞机飞到战场上空。

但是，“捕食者”无人机的操作人员与传统的机组人员还有一个不同点：他们常年采用轮班制。这样的工作节奏会导致一些心理和社会问题。一位“捕食者”无人机飞行员说：“这是一份全年无休的工作。周五晚上，你可以去中队的酒吧休闲，但有的家伙还在工作呢。”操作人员的工作性质与节奏意味着“整个中队无法聚在一起……大家一起出去玩，是绝对不可能的事”。

针对“捕食者”无人机操作人员的疲劳和压力问题的一项研究发现，导致这些问题的最主要原因是连续不断的快节奏操作、数据信息庞杂的用户界面和职业发展的不确定性，而不是因为亲眼看见、亲手操作无人机进行远程杀戮而承受的道德压力。

不过，为数不多的几名“捕食者”无人机操作员与图像分析员在接受新闻媒体采访时，谈到了他们通过摄像头观察战争的感受。2013年，图像分析员希瑟·莱恩博在《卫报》（*The Guardian*）的一篇文章里说：“我看到年轻的士兵倒在路边，浑身是血，正在慢慢地死去。有的士兵我甚至能叫出他们的名字。我没有去过阿富汗，但是我连续好多天都在通过显示器密切关注那里的冲突。我知道亲眼看着某个人死去时的感受。”她说，她做的身份鉴别有可能导致某些人丢掉性命，因此她的心里常会产生一丝疑虑，担心自己的鉴别并不准确。

2007~2012年担任“捕食者”无人机传感器操作员的布兰登·布莱恩特告诉《智族》杂志，伙伴们嘲笑他是“坐在轮椅上的战士”，他对此奋力反驳，并“用监视器上显示的画面回击他们的玩笑”。布兰登·布莱恩特还谈及他在“捕食者”无人机飞行中队服役期间感受到的无助感、与外界社会的割裂感、无力感以及类似于创伤后应激障碍（PTSD）的感觉。朋友们在他的脸谱网上嘲笑他的经历，布莱恩特反问道：“你们当中有多少人曾经杀死过一群人，在人们收拾、埋葬这些尸体的时候冷眼旁观，然后将这些人也全部杀死呢？”

2013年，美国空军的一项研究发现，遥控飞机机组人员的心理健康诊断结果同亲临战场的飞行机组人员一样，也有创伤后应激障碍、抑郁、焦虑性障碍等问题。这样的结果令人惊讶，因为比较的一方是在作战地区冒险的机组人员，另一方则是在家里与家人待在一起的机组人员。2014年4月，美国联邦政府问责办公室（GAO）的一项研究报告称，遥控飞机机组成员之所以面临人员不足、士气低落、工作条件糟糕、职业前景不确定等问题，是因为他们被烙上了一个“耻辱的标记”：他们操控的是无人驾驶飞机。无人机飞行员们则认为，不清楚自己何时可以重新驾驶有人驾驶飞机，以及在美国境内军事基地“部署就位”的说法模棱两可，这些是让他们备感压力的主要原因。很多人说，他们宁愿被部署到作战地区，接受为期6个月但是结束时间明确的战斗任务，也不愿意在三年甚至更长时间里处于部署就位状态，而且每周6天都在轮班。美国联邦政府问责办公室称，同时期内遥控飞机飞行员退出空军的人数是有人驾驶飞机飞行员的3倍。

美国空军对这个问题也做出了回应，他们指出，遥控飞机飞行员并不是最优秀的飞行员。一名空军发言人在美国广播公司（ABC）的新闻节目中说：“坦白地说，人们都梦想能在蓝天上翱翔，而不是‘我想操控遥控飞机’。”在“捕食者”无人机及其机组人员的重要性已经得到承认的情况下，美国空军却仍然发表了这种侮辱性言论，这说明对

于这种通过技术手段获得的新型战争体验，美国空军还无法确定应该将它摆在什么位置上。

> 他们击落了一架“捕食者”，让我驾驶无人机的可能性减少了一点儿
>
> 他们击落了一架“捕食者”，我感到无比惊喜
>
> 空军仍在忙个不停，制造这种糟糕的玩意儿……
>
> 他们击落了一架“捕食者”，我想知道人们有什么感想
>
> 在那位操作员看来，他失去了他的伙伴
>
> 它是那样无助，仿佛一只待宰的羔羊
>
> 他们击落了一架“捕食者”，我想知道人们有什么感想。
>
> ——道斯·格林格斯，“‘捕食者’悼词”
>
> 《住在沙坑里》

“‘捕食者’悼词”这首歌的作者是两名以创作玩世不恭的音乐闻名的战斗机飞行员。这首歌在承认“捕食者”无人机让他们心存忧虑（“让我驾驶无人机的可能性减少了一点儿”）的同时，通过嘲讽的方式揭示出“捕食者”无人机在美国空军内部远未取得稳定地位的事实。歌曲表现的可能是“捕食者”无人机发生的一些事故。由于失去无线电联系，美军飞机只好将这些无人机击落，以免它们对其他飞机构成威胁。甚至还有报道称，这些飞行员在击落“捕食者”无人机之后，还会在他们驾驶飞机的侧面涂上“捕食者”无人机的图标，以示他们在空战中取得的成绩。后来，空军高层出面干预，他们才擦掉了这些图标。

一名曾被要求为一架“捕食者”无人机护航的F–16战斗机飞行员称：“我不由得大笑起来，并立即拒绝了这项任务。我还有其他更重要的事情要做。”说到遥控飞机操作人员，他表现出非常典型的不屑一顾

的态度，说遥控飞机“在那些躲在防御工事后面的操作中心、戴着眼镜、两眼盯着电脑显示屏的军官当中非常流行”。很多飞行员指出，“捕食者”无人机在伊拉克和阿富汗取得了一些成绩，是因为那里的空中环境十分温和，没有空中力量的威胁。如果换一个有导弹防御体系、敌军飞机和高射炮的环境，“也就是说，在战场上”，遥控飞机就毫无用处了。

2011年，正在攻读国际关系博士学位的美国空军军官戴夫·布莱尔，在一本空军类杂志上撰文指出美国空军文化所面临的基本矛盾。布莱尔质问：“一架安装有两台备用引擎的有人驾驶飞机从作战区域上空飞过，它的飞行高度远远超出了所有现实威胁的范围，但我们却认为这架飞机是在‘作战’，而‘捕食者’无人机愤怒地发射‘海尔法’机载反坦克导弹的行为是‘战斗支援’，这是为什么呢？”

布莱尔曾在酒吧与一名F–22猛禽战斗机飞行员发生过一场争执。F–22猛禽战斗机是美国空军的装备先进的战斗机，驾驶舱与“捕食者”无人机的控制台十分相似。这名飞行员对布莱尔说：“通过视频电话会议方式参加战斗，这并不值得骄傲。”布莱尔驳斥道：“躲在隐形战斗机里、从视距以外的距离发射导弹的行为（F–22猛禽战斗机飞行员完成的工作）同样不值得骄傲。”

布莱尔在公开发表的作品中称，美国空军“关于制度的信息前后矛盾”，是造成“捕食者”无人机机组的士气低迷和人员不足问题的根源所在。他呼吁美国空军承认“捕食者”无人机机组人员在战斗中发挥了显著作用（尽管他们在生命安全方面受到的威胁比较小），并且为他们颁发战斗勋章，以增强他们的责任感。

布莱尔的论文立即引发了强烈的反应，有人甚至对他进行了人身攻击，称这篇论文“说得好听一点儿是荒谬可笑，说得难听一点儿就是傲慢无礼”。一名评论员指出，“也许在直接经受炮火的洗礼之后，布莱尔对这个问题的理解会更透彻一些”。其实，布莱尔既驾驶过C–130

运输机，也当过“捕食者”无人机飞行员，既到过伊拉克，也参加过阿富汗的军事行动。用他的话说，他“既亲身上过战场，又参加过远程战争”。不过，批评者们仍然强调只有亲身体验才是有价值的。“把摆弄（遥控飞机）控制开关的行为说成参加战斗，这种说法是不正确的。只有亲身体验才是参战行为。”还有人认为：“无人机飞行员坐在小房间里，而有人驾驶飞机的飞行员则要飞越敌占区的上空，两者面临的危险不可同日而语。”

毫无疑问，这样的争执在众多的飞机库、操作中心和酒吧里不断重复，美国空军被迫重新审视“飞行技术”这个概念的含义。驾驶一架飞机和下达指令之间到底是什么关系？如何根据危险因素来界定军事职业的特征，或者战争中杀人行为的合法性？除了发生概率极低的因机械故障导致的坠毁事故以外，驾驶有人驾驶飞机在战场上空无争议空域飞行的飞行员还面临哪些危险？也许空军需要考虑的显著问题是：空军军官应该积极投身于航空这个职业，还是更宽泛的军事任务？两者之间如何取得平衡？

2009年，美国空军为遥控飞机飞行员新设了一个编号为“18X”的职业分类。美国空军认为，这种新类别的职业在经过一段时间的培训之后，就可以满足大部分的人员需求。但是，这个新的职业分类能否在以有人驾驶飞机为核心建立起来的军队体系中赢得合法地位，还要拭目以待。

2013年2月，仿佛是为了回应布莱尔的建议，即将卸任的美国国防部部长莱昂·帕内塔宣布推出“杰出战事勋章”。这种勋章并不要求获奖者必须有亲身参战的冒险行为，而是专门为那些无法获得其他勋章的无人机或网络战操作人员设计的，目的是表彰那些“没有英勇行为、没有对作战行动或其他军事行动产生直接影响但取得了非凡成就”的人员。新勋章的地位排在表彰亲临战区作战者的“铜质勋章”之上和“飞行优异十字勋章”之下。

这样的排位激怒了老兵们，他们嘲笑说“杰出战事勋章”就是“任天堂的游戏勋章”。老兵们质问道：“表彰亲身参战的勋章怎么能排在表彰远程参战者的勋章之后呢？”帕内塔答道：“尽管他们没有亲身参与战斗，但他们为作战行动取得胜利做出了不可或缺的贡献。”紫心勋章协会也加入了谴责者的行列，指出“从本质上看，这种奖励是为了表彰服役期间表现突出的人，但它竟然排在英勇作战的奖励之上，这是对冒着生命危险在敌对环境中日复一日艰苦作战的每一名美国陆军、空军、海军或海军陆战队士兵的贬低和侮辱”。面对这些反对意见，帕内塔的继任者查克·哈格尔在上任后不久就下令对该勋章进行评估，几周后这个新勋章就被取消了。

1862年，装甲炮舰“莫尼特”号上的一名船员盯着这个被不祥阴云笼罩的铁质“新家”，心中暗想：“躲在这堆铁壳后面，我们会不会因为冒险不足而无法赢得荣誉啊？”这种新技术明显可以保护他免受敌军炮火的威胁，但也改变了他对英勇这个概念的理解。赫尔曼·梅尔维尔登上“莫尼特”号之后，觉得“战士们是不是都变成了技术工人”或者工厂工人了。这种担忧在改头换面之后，又出现在当今这个由全球网络、认知系统和知识型工作构成的世界里，萦绕在“捕食者”无人机飞行员的心头。

“捕食者”无人机的驾驶舱不仅是飞行员操控飞机的场所，而且是让现代战争所需要的人员（包括飞机设计师、程序员、飞行员、传感器操作员、地面部队和数据分析人员）与信息之间发生联系的节点。这一切都是在各方达成脆弱的政治共识之后，在目标变化不定的远程战争背景下实现的。总统的权力、国会的监督、情报机构和公众等都是“捕食者”网络的组成部分。战争从来都是一种社会体验，各方的说辞、社会议题与职业身份相互矛盾，目标常常含糊不清，“捕食者”无人机机组人员的工作就是梳理他们的关系，帮助他们实现各自的目标。通过闪烁的显示屏，他们走进了一个不同的世界。

然而，在近期的一个以“未来操作员”为主题的美国空军座谈会上，“捕食者”无人机飞行员们称“无人机飞行员（操作员）面临着身份危机”。一方面，他们遭到了人们的嘲笑，被斥为不能冒险冲锋陷阵的“轮椅战士”；另一方面，工作又给他们带来了巨大的压力，因为他们从事的工作不仅需求极大，而且要求他们通过一个全新的远程视角，密切观察一种新奇的战争形式所造成的各种恐怖场景。就像“莫尼特”号的那位船员一样，无人机飞行员们担心他们的工作会不会因为冒险不足而无法创造辉煌。

平民世界中的危险与荣誉并不像战争中那样咄咄逼人。但是在现代职场，职业尊严、社会地位以及不断变化的任务也面临类似的困境。在机器人时代，我们都会面临“捕食者”无人机操作员面临的问题。

---

1. D日，在军事术语中，D日经常用作表示一次作战或行动发起的那天。——编者注

第5章
太空旅行：宇航员与机器人探索者的火星之舞

从50年前宇航员阿姆斯特朗踏上月球，到今天为世人津津乐道的中国“玉兔”号月球车和美国“好奇”号火星车，太空探索已进入了人类和机器人协作的新阶段。

作为一个极端环境，太空对人类极不友善，真空、辐射、寒冷，以及遥远的距离都将人类拒之门外。如果人类在进入太空后既不穿防护服，也不搭乘运载工具，就必然面临被冻僵、烧死或者爆炸的结局。太空是一个遥不可及、充满敌意的世界，而且暗藏着极高的政治风险。在航天飞行于20世纪刚刚兴起时，就提出了何种形式的存在、哪种机器最能传递人类体验的问题。

近50年前，载着尼尔·阿姆斯特朗登陆月球的登月舱中既有平视显示器，又安装了自动着陆系统。平视显示器采用的是一种早期的无源设计，就是在登月舱的窗户上刻出一系列角度标记。机载电脑通过显示屏（好像是LED显示屏）给出一个角度数字。如果阿姆斯特朗的头部处于正确的位置，他就能以窗户上标示的那个角度，透过窗户看到月球上的一个点，这个点就是计算机确定的着陆点。

如果指定区域有岩石或者环形山，阿姆斯特朗可以随时推拉手中的操纵杆，在登月舱的前后或者左右位置“重新确定”一个登陆点。计算机会重新计算引导登月舱着陆的轨线，并给宇航员提供一个新的观

察角度。只要他愿意，阿姆斯特朗可以无数次地重新确定着陆地点，直到人和机器达成一致意见，确定一个理想的着陆地点。最终，自动着陆系统就可以操控登月舱成功地安全着陆。

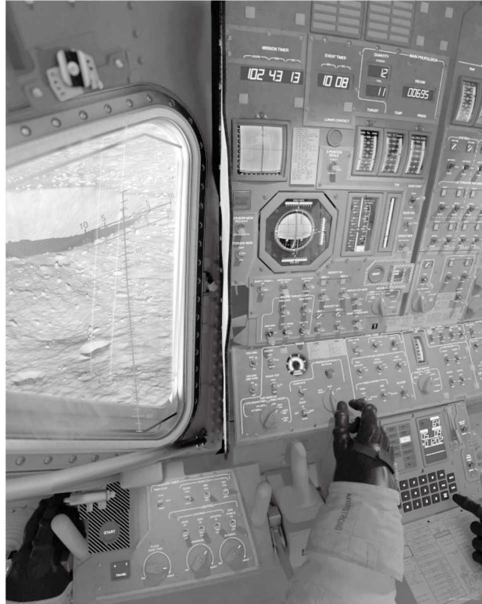


图5–1 阿波罗11号在着陆的过程中，尼尔·阿姆斯特朗在月球上方几十米的高度透过窗户观察和寻找着陆点。图中，阿姆斯特朗伸出右手，准备关闭自动瞄准和自动着陆系统，切换至半手动模式。请注意观察右下方的导航计算机。该计算机可以给出一个角度，供阿姆斯特朗透过无源平视显示器（即刻在窗户上的十字线）观察和寻找着陆点

图片来源：图片由约翰·科诺根据本书作者的构思完成，在收集资料的过程中得到了保罗·费耶尔德的帮助。

但是，阿姆斯特朗根本没有使用自动着陆系统。他不愿意接受计算机为阿波罗11号选择的着陆地点，因为那里有环形山，还有岩石。在月球上方几十米的高度，阿姆斯特朗没有让计算机重新选择着陆地点，而是关掉了阿波罗11号的自动化系统，选择用手动着陆方式。（这与电影《星球大战》里的卢克·天行者的做法不谋而合。卢克也关掉了计算机，依靠原力瞄准并摧毁了死星。）

在这次以及随后5次阿波罗登月行动中，所有指挥官都在差不多的高度处关闭了登月舱的自动着陆系统。他们中的大多数人说，尽管计算机功能强大，允许他们重新选择登陆地点，但由于计算机建议的登陆地点有岩石或者环形山，因此他们决定关闭自动着陆系统。

航天飞机也装有自动着陆系统。由太空重新进入地球大气层之后，航天飞机的温度会变得非常高。随后，它会沿着一束特别设计的微波，在计算机的导引下着陆。在这个过程中，宇航员只需在一旁监控，根本不需要触碰控制开关（不过，他们仍然需要以手动方式放下起落装置，打开减速伞）。1981~2011年，这些航天飞机一共执行了135次任务。每次飞行时，航天飞机指挥官都会在着陆之前就早早地关掉自动化装置，以手动方式让航天器着陆。

在航天飞机执行第三次飞行任务时，自动着陆系统差一点儿就完成了着陆。当时，为了做一个实验，宇航员杰克·洛斯马直到航天飞机离地37米时才关闭了自动着陆系统。在新墨西哥州的白沙国家保护区着陆时，由于风速过大，控制进近的软件出了问题，以致在由自动控制切换到手动控制模式时出现了一些意料之外的动作，比如一个高难度的“后轮平衡特技”——航天飞机只有两个后轮着地。虽然设计人员更新了软件，但随后的航天飞行再也没有用过自动着陆系统。

人们难免认为，出现这种情况的原因是飞行员倾向于使用手动控制技术，而拒绝使用自动化装置，这与工会组织反对技术革新的情况非常相似。毫无疑问，职业自豪感是原因之一，但如果过于强调这个原因就会蒙蔽我们的眼睛。

我问过一些航天飞机指挥官，既然他们用模拟器进行过相关训练，也在练习机模拟着陆中使用过自动着陆系统，为什么还要在实际飞行中关闭自动着陆系统呢？他们回答道，如果自动着陆系统出现问题，手动干预的难度将会非常大，甚至还会导致破坏性后果（而且，所有航天飞机备用着陆机场都没有引导自动着陆系统的高灵敏度地面设备）。在只有一次机会的情况下，你很可能会选择手动着陆吧。想想看，在法航447号航班的机器出现故障后，飞行员不是立即惊慌失措吗？

不过，就像前文中提到的欧航飞行员一样，航天飞机的飞行员也在接受引导提示和飞行航径矢量的指引。事实上，自动着陆系统还在提供这些数据，因为飞行员并没有完全关闭自动着陆系统，只不过不让它向航天飞机发送操控信号。在飞行员手动操控航天飞机时，自动着陆系统的算法还在通过引导提示向飞行员发出各种指令。

身系祖国财产安全与自身安全的阿波罗号宇航员及航天飞机指挥官，在处理人与机器的关系时做出了与欧航飞行员一样的选择，即选择了有视觉回馈的富交互，而不是“控制链路顶端”的自动监控系统。

航天飞行给人类带来了无数意想不到的困难，被航天飞机放弃的自动着陆系统不过是其中微不足道的一部分。2011年，航天飞机的退役引起了人们的无限想象，也把美国人推到了一个转折点。此时，人类进入太空已有40年的历史，而且无论是在虚拟世界还是在现实世界中，人类的太空飞行都取得了蔚为壮观的成绩，尽管其中也伴随着一些灾难性事故。

展望未来，观察家们提出了一系列问题：人类是否需要继续进行太空冒险呢？是否可以在地面上通过远程方式实现太空探索的目标呢？在思考航天飞机留给人类的遗产时，人们发现值得关注的不仅是科研上取得的巨大成就，人类的作用同样不容忽视。哈勃空间望远镜的修复和国际空间站的建造，似乎为重建传统的人类临场方式注入了活力。

与此同时，一个又一个小型机器人漫游车登上了火星。尽管数据带宽有限、时滞较长，但这些机器人漫游车为科研团队和大众提供了去往火星的强烈临场感。这些科研人员在地球上是如何产生“亲临火星”的感觉的？人类在火星上又是如何工作的？

为了回答这些问题，我们先看一些著名的载人和遥控航天飞行吧。哈勃空间望远镜的维护与修复工作，以及通过机器人漫游车完成

的火星远程探索，都凸显了人类在太空的临场感，但是人类在这两项活动中所起的作用截然不同。在前一项活动中，人类是修理工或者建筑工，需要发挥能工巧匠的技艺；而在后一项活动中，人类是探索者，需要做出科学的判断。

在这两项活动中，随着人类走出大气层，在地球以外的环境开展工作，人类的经验和技术也在庞大的星际网络中不断延伸。机器人技术的兴起对哈勃空间望远镜的修理和空间站的建造产生了深远的影响。登陆火星的遥控漫游车使科研人员和工程师“置身”于另一个星球，并开展日常性的科研工作。

哈勃空间望远镜进入其太空轨道绕地球运行已有20多个年头了。在其中16年的时间里，人类在航天飞机的机舱外，通过自己的双手对它进行了5次维修工作。乍一看，这似乎充分地展现了宇航员的技艺。不过，这些任务的完成与机器人技术也有着密不可分的关系。因此，在深入研究人类在火星以及更遥远星球的远程临场能取得哪些突破性成果之前，我们有必要先思考“载人”航天飞机与机器人之间的密切关系，以及同机器人合作对于人类宇航员的重要意义。

空间望远镜的发展史，本身就是天文学家工作体验的演变史。从本质上讲，天文学家从事的是远程探索工作，虽然不会亲自前往他们所研究的环境，但他们的确是在偏僻的环境（例如，夏威夷莫纳克亚山以及类似的荒郊野岭，或者在夜深人静的时候登上世界各地的建筑物屋顶）中对研究对象进行认真观测的传统。如今，天文学家常常进行远程观察。他们坐在办公室里，提交望远镜观测时间申请，然后就可以通过互联网接收观测图像和数据。空间望远镜不过是天文学家远离观测场所的一个极端例子。

建立空间望远镜的想法由来已久。早在1923年，德国的火箭技术先驱赫尔曼·奥伯特就首次提出了这个建议。1952年，他的弟子韦纳·冯·布劳恩与艺术家切斯利·邦艾斯泰合作，在《科利尔杂志》上发表了一

系列有影响力的文章和图片，展望了人类探索太空的前景。冯·布劳恩提出，轨道空间望远镜可以通过机器人操控，而宇航员会定期前往更换胶卷。冯·布劳恩没有预测到电子成像技术的进步，但他认为人类可以远程为望远镜提供服务的理念却成为现实。

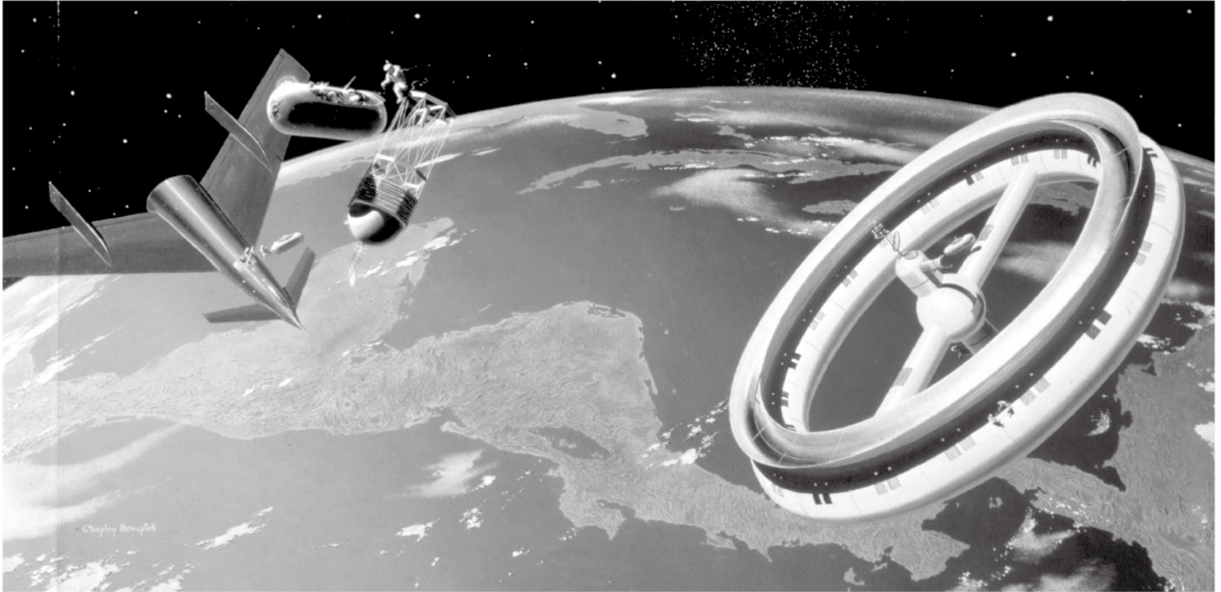


图5–2 切斯利·邦艾斯泰绘制的未来空间操作示意图（1952年）。图的左侧是航天飞机，右侧是空间站，中间是空间望远镜，一名宇航员正在为空间望远镜更换胶卷

不过，在早期的哈勃望远镜维修项目中，人们就提出了由机器人完成空中维修的设想。航天飞机与哈勃望远镜会和之后，宇航员通过操作机械手抓取望远镜，然后把它放到有效载荷舱里的一个刚硬的支座上（这与实际的维修方式十分相似）。

不过，这个设想并不要求宇航员穿上宇航服，直接动手维修望远镜上的仪器，而是由机械手自动完成模块更换。机械手会麻利地卸下并回收需要更换的模块，然后安装好新模块。人们事先对所有零部件都有了充分了解，而且这些零部件都被加固过，即使20世纪70年代的机器人技术也能胜任这项与装配线自动作业非常相似的任务。

人类将在航天飞机内部参与维修工作，由一名宇航员操控机械手按照预设程序完成各项任务。美国航空航天局的“卫星维修之父”弗兰

克·塞波琳娜回忆说："宇航员的工作就是坐在舱内，按下按钮，操控机械手更换模块化的仪器。为了完成这项工作，人们制作了一个大型的实体模型，练习使用机器人拆卸、更换其中的仪器。在这个设想的激励下，加拿大开发出遥控机械手，并在航天飞机研发项目进行到后期时把它安装到了航天飞机上。

这个最初的设想有很大一部分被哈勃望远镜修复方案所吸纳，包括望远镜的维修支座、由人坐在航天飞机里操控的机械手。但是，修复方案还增加了一个关键性内容：宇航员身穿宇航服，进入有效载荷舱开展工作。通常，他们的身体会被绑在机械手的一端上，有时几乎整个人都要爬到仪器里面。

哈勃望远镜是美国国家航空航天局设计的第一颗由人类手动维修的人造卫星，在1990年进入太空轨道之后不久，就出现了维修问题。由于一系列计算错误和操作失误，地面工程师在建造望远镜的主镜面和用来测试评估主镜面时，留下了一些瑕疵。

当人们发现哈勃望远镜不能取得预期效果时，这台超出当年和随后几年预算的造价昂贵的望远镜仿佛成了一个毫无用处的蹩脚货。宇航员杰夫·霍夫曼回忆说："哈勃望远镜几乎成为第二个'兴登堡'号飞艇，是美国国家航空航天局的一个灾难。"这项计划遭到无数的嘲讽和指责，例如，1990年7月9日的《新闻周刊》在封面上刊出了"时运不济：美国国家航空航天局耗资15亿美元铸成大错"的大标题。

随着一些光学元器件发生故障，引人注目的哈勃望远镜修理任务就此拉开序幕。美国航空航天局召集有丰富航天飞行经验的人成立了一个维修小组，并把舱外的主要工作交给了航天员杰夫·霍夫曼和斯多里·马斯格雷夫。霍夫曼是一名天体物理学家，拥有哈佛大学博士学位，参加过前三次航天飞行任务。马斯格雷夫的阅历十分丰富，曾经是海军陆战队的机修师、飞行员、医生。由于马斯格雷夫当过外科医生，因此在精密性手工操作方面是小组中的权威人士。就像治病一

样，他们也会给哈勃望远镜“做手术”，更换零件，修复有问题的地方，完成一些重要的升级工作，在“缝合”之后再把它送回太空轨道。

在任务开始之前，美国航空航天局局长丹尼尔·戈尔丁把维修小组叫到他的办公室，告诉他们美国航空航天局的前途全系在他们的工作表现上了。建立空间站的申请正在等待美国国会的审议，到底有多少人支持还不得而知。美国航空航天局必须证明自己可以弥补自己在哈勃望远镜项目上所犯的错误，在哈勃望远镜沿轨道运转的同时完成复杂的高风险维修工作。建设空间站需要大量体力劳动，但如果美国航空航天局不能在维修哈勃望远镜的行动中弥补自己的过失，美国国会不会再将更大型的项目交给他们。尽管这明显是一项机械修理工作，但由于需要修理的是探索宇宙起源的仪器，所以它对于人类社会而言具有深远的政治意义。

为了模拟失重状态，维修小组在美国航空航天局的水下训练池里进行了长时间的练习。维修程序异常复杂，马斯格雷夫和霍夫曼的腕带任务清单根本没办法写下所有步骤，届时会由坐在航天飞机里的其他宇航员读出指令，并通过无线电发送到他们的耳中。霍夫曼和马斯格雷夫对制造商开发的任务程序进行了完善、改写，针对操作说明上没有提到的意外情况，精心设计每一个动作。

1993年12月，“奋进”号航天飞机点火升空，开始执行有史以来最有野心的一项太空任务：宇航员将要完成5次太空行走，如有必要，还会进行第六次和第七次太空行走。起飞后的第二天，“奋进”号进入轨道，并且慢慢逼近哈勃望远镜。与此同时，维修小组对自己的设备进行了检查。找到受损的哈勃望远镜之后，他们发现还需要解决另外一个问题：望远镜的太阳能电池板不能正常工作，明显受到了物理损伤。第二天，为了维修太阳能电池板，位于马里兰州的地面控制台通过远程操作，关闭了哈勃望远镜，并把天线收了起来。

在计算机的控制下，航天飞机迅速向望远镜靠近。随后，指挥官理查德·科维接管了控制权，以手动操作的方式让航天飞机飞到了距离哈勃望远镜约9米的地方。此时，哈勃望远镜看上去似乎纹丝不动。在霍夫曼的记忆里，这台望远镜“无比神奇……你向外看去，这台巨大的望远镜就漂浮在有效载荷舱的上方，一动不动。但实际上，它和我们都在以每小时28 968千米的速度运动”。

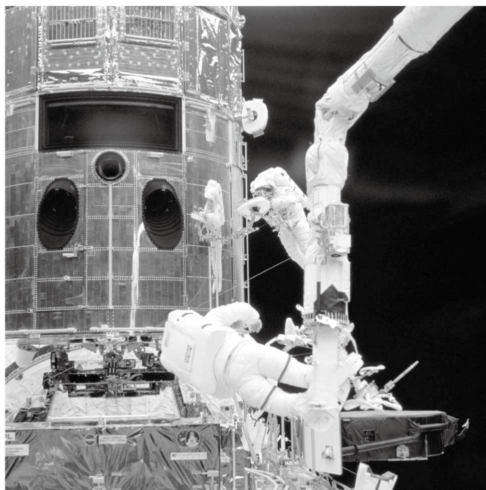


图5–3 正在执行修理任务（1993年）的宇航员杰夫·霍夫曼（裤脚有横纹）和斯多里·马斯格雷夫。注意观察，霍夫曼的双腿被绑在航天飞机遥控操纵的机械手上
图片来源：美国航空航天局约翰逊航天中心。

在瑞士宇航员克劳德·尼科里埃尔的操控下，“奋进”号的机械手抓住哈勃望远镜，向航天飞机货舱里的一个固定工作台处移动。科维在无线电里喊道：“我们正在和哈勃先生的望远镜亲密握手。”随后，机械手将望远镜放到了货舱。维修小组通过机械手末端的遥控摄像头对“猎物”进行了一番详细检查。

第三天，马斯格雷夫和霍夫曼穿上宇航服，开始进行第一次太空行走。他们把工具挂在胸前的口袋和“鱼串钩链”（这个工具有多个钩子，仿佛钓鱼人用来挂鱼的钩链）上。

他们身上挂着各种各样的工具和配件，来到航天飞机的货舱，开始在真空的空间里布置工作区。他们把货舱变成了修理工的工作台，工作台上整齐地摆放着一排工具。有的工具是必需的，有的工具则是

为了满足不时之需。马斯格雷夫回忆说：“我们准备了锤子、弓锯、撬棍等。幸运的是，我们并不需要使用这些笨重的家伙。不过，我们仍然做好了使用它们的心理准备。”

接着，霍夫曼在机械手的末端装上了一个脚限位器，固定住自己的两只脚。仍然坐在航天飞机里的尼科里埃尔操控着机械手，带着同事霍夫曼一起绕着望远镜走动，以便对望远镜做进一步的检查。在任务刚开始时，霍夫曼需要告诉尼科里埃尔如何移动。随着任务的进行，尼科里埃尔逐渐可以预见到霍夫曼的行动意图，两人的配合十分默契。

突然，一颗小螺丝钉从工具袋里“逃”了出来，漂浮在货舱的外面。这个突发情况引发了众所周知的“螺丝钉大追捕”行动，因为这颗螺丝钉对哈勃望远镜或者航天飞机的精密机械来说都是一个潜在的危险。在尼科里埃尔操控的机械手的协助下，霍夫曼来到远离货舱的外部空间，试图抓住这颗螺丝钉。但是，机械手的运动速度太慢，霍夫曼根本追不上这颗螺丝钉。于是，航天飞机飞行员、机械手后备操作员肯·鲍尔索克斯走到计算机旁边，修改了几个参数，加快了机械手的速度。最后，霍夫曼终于抓到了那颗螺丝钉。

很快，马斯格雷夫和霍夫曼打开了望远镜一侧的门，就像机修工爬进汽车里一样，霍夫曼也爬到了哈勃望远镜里面。他拆卸了几个发生陀螺仪故障的组件，并换上了新组件。

在这一天的任务快要结束时，马斯格雷夫转身去完成另外一项任务，霍夫曼准备关上这扇门。他在训练池里练习过关门这个动作。霍夫曼回忆说：“于是，我合上门，转动门闩，然后准备插上插销。”但是，门关不上了。听到霍夫曼的呼叫，马斯格雷夫走了过来，他也发现无法插上插销。霍夫曼至今还记得他们当时的沮丧心情：“这项工作基本上需要5只手才能完成，但是我们俩加起来才有4只手。”

为了解决这个问题，他们开始呼叫求助，并且把这个难题向地球上的工程师做了说明，还拍摄、上传了照片。最终，他们想出了一个办法：利用有效载荷约束装置（一种货物捆绑绳）把门向下拉。最后，门终于关上了。这次太空行走持续了近8个小时，是美国航空航天局历史上第二长的太空行走。霍夫曼发现，太空行走对体力的消耗并不是很大，但却让人的精神备感疲惫。

第四天，宇航员托马斯·埃克斯和凯西·桑顿为哈勃望远镜更换了损坏的太阳能电池阵列，还小心翼翼地安装了COSTAR——可以弥补哈勃望远镜核心光学器材缺陷的光学矫正组件。

第六天晚上，霍夫曼和马斯格雷夫在航天飞机有效载荷舱聚光灯的照射下，更换了哈勃望远镜的广角行星相机。霍夫曼的双腿再次被绑在由尼科里埃尔控制运动方向的机械手的末端，在马斯格雷夫的帮助下，从望远镜上拆除了这台仪器，它的大小与钢琴类似。霍夫曼将这台仪器放入航天飞机货舱里的一个特制的运载工具，然后装上了新相机。他清楚地知道，如果相机稍有摇晃或者有任何污迹，都会影响望远镜的成像质量。

之后，他们又花了三天时间，通过采取杂技表演般的行动，更换了太阳能电池阵列的驱动电子器件以及其他一些零部件。经过一番测试，尼科里埃尔再次操纵机械手抓起望远镜，把它放回太空轨道。

在描述这次任务时，马斯格雷夫使用了“舞蹈设计”、“芭蕾”等词语，来凸显这次维修任务的精细、完美和重要性。他认为，宇航员是耦合这个大型的人–机器人系统的关键，“我们是任务控制台的延伸，是控制人员的眼睛和手”。航天飞机飞行员肯·鲍尔索克斯说，这次任务是“飞行员与航天工程师的艺术创作和手工制作”。由于随时随地都有可能发生错误，导致代价巨大、令人难堪甚至非常危险的后果，因此现场气氛非常紧张。

这次任务完成得十分顺利，使哈勃望远镜成为美国航空航天局历史上最富有成果的科学项目。哈勃望远镜不仅可以让人类直接观察早期的宇宙，而且它对宇宙大小与年龄的测算、对太阳系的形成以及其他现象的观察结果改写了天文学课本。

第一次修理工作不只是对哈勃望远镜做了一次“外科手术”，也不只是精密的手工操作，更是人与机器人之间的一次协作。固定在机械手末端的人起到了“末端执行器”的作用，是人–机器人系统的眼睛和耳朵。

这是一个引人注目的组合。维修小组有5名成员坐在航天飞机里，通过语音、数据和视频同休斯敦建立联系；尼科里埃尔一面精准地操纵机械手完成各个动作，一面盯着窗外宇航员的工作进展情况；霍夫曼、马斯格雷夫和埃克斯、桑顿分成两组，在美国另一个地方的另一组人员的远程指挥下，轮流作业。弗兰克·塞波琳娜一直认为：“在完成维护任务的过程中，人和机器人缺一不可……机器人技术和人类一定要密切配合才可以。”这次任务的顺利完成，证明他的观点是正确的。

在第一次修理任务完成之后，宇航员们又在随后的三次修理任务（分别于1997年、1999年和2002年实施）中完成了哈勃望远镜的后续升级工作。他们为望远镜加装了照相机和光谱摄制仪，更换了出故障的传感器和电池，让望远镜的电子元器件基本达到了最新的技术水平。根据当初的计划，在2004年对哈勃望远镜进行最后一次维修之后，宇航员将于2010年再次去往太空，将退役的哈勃望远镜带回地球并陈列在博物馆中。

然而，2003年1月，“哥伦比亚”号航天飞机在进入大气层时失事，7名宇航员全部遇难。在美国航空航天局调查这次事故并重新评估“哥伦比亚”号的使命时，所有的航天飞机都暂时停飞了。

“哥伦比亚”号事故发生一年之后，美国航空航天局局长肖恩·奥基夫宣布美国将不再利用航天飞机完成哈勃望远镜的修理任务。在陈述理由时，奥基夫指出了其中的风险。由于哈勃望远镜的轨道交角非常大，因此安排宇航员进入空间站是不安全的。如果出现一个与“哥伦比亚”号相类似的问题，返航时就会有危险。但是，奥基夫做出这个决定的时机引发了人们的猜测。就在两天之前，当时的美国总统小布什宣布了他的“太空探索远景计划”（Vision for Space Exploration），该计划关注的核心问题是重返月球。近地轨道已经失去了吸引力，空间观测家认为，哈勃望远镜成了小布什新政的第一个“受害者”。

支持这项任务的人四处活动，试图说服美国航空航天局和国会改变这个决定。与此同时，美国航空航天局戈达德航天中心的专家们开始考虑用机器人完成哈勃望远镜的最后升级工作，并着手进行任务设计。为了解决这个问题，从2004年3月开始，1 000多人（其中包括来自美国航空航天局其他航天中心和承包商的人员）聚集在戈达德航天中心，用了一年时间，为2008年实施这项任务制订计划，还完成了该项目的初步评估。

2005年接任美国航空航天局局长一职的迈克尔·格里芬对利用机器人完成该项任务的可行性持怀疑态度。后来，美国国家研究委员会的一项研究发现，使用机器人完成维修任务的风险极高，并且认为由人工完成维修工作是一个更好的选择。这项研究令格里芬的态度更加谨慎，他立即取消了机器人计划，并在不久之后宣布启动SM4任务（即“第四次维修任务”）。SM4是一项基于航天飞机的任务，最终被安排在2009年由STS–125号航天飞机来执行。

戈达德航天中心的机器人计划最终未能实施，不过，它仍然值得我们关注，因为它与人–机器人维修任务形成了一个鲜明的对比。而且，尽管原本计划由机器人完成的这些任务最终由宇航员来完成，但

是这个计划还是产生了某种影响，是人与遥控系统共同演化的又一个实例。

戈达德团队发现，机器人执行维修任务的设计工作异常复杂，更何况维修对象还是哈勃望远镜。根据哈勃望远镜的设计，它的维修应该由人而不是机器来完成。以哈勃望远镜的陀螺仪为例，这些精密的陀螺仪都位于望远镜内部很深的位置。在之前的三次维修任务中，6名宇航员爬进望远镜内部，蜷缩着身体，更换了其中8个陀螺仪。而且，每次更换都遇到了一些麻烦。

在机器人计划和SM4任务中都担任系统工程师的阿瑟·惠普尔发现，尽管他们在机器人计划上绞尽脑汁，“但是因为设计的问题，这个界面特别难安装，无论你怎么努力，想完成任务都不是一件易事”。难以想象机器人可以像霍夫曼那样爬进哈勃望远镜的内部，于是戈达德团队另辟蹊径，决定在一组相机的外部加装一些陀螺仪。他们还发现，适合用机器人完成维护任务的那些设备，都具备优秀设计的普遍特点：被安装在航天器的外部，伸手可及，便于拆卸。适合机器人的设计同样适合人类，人类难以处理的设计对于机器人来说难度就更大了。

戈达德团队为机器人设计了一组奇特的工具，用来实现打开舱门、挡住舱门不让它关闭以及放置其他工具等用途。后来，这些工具的使用者变成了人类。在执行SM4维护任务时，7名维修小组成员使用了前几次任务中用过的66件工具，以及原本是为机器人设计的100多件全新的工具。

在这些奇特的工具中，有一件工具的功能非常简单，就是收纳螺丝钉。美国航空航天局希望更换哈勃望远镜里边的电路板。这些电路板与那些可置换的部件有所不同，当初在设计时就是无法修理的。更换这些电路板需要松开几十颗小螺丝钉。在为机器人完成该项任务进行设计工作时，戈达德团队的工程师们准备了一个可以用螺栓固定在

哈勃望远镜外部的特制回收盘。在SM4任务中，维修人员用这个回收盘收纳螺丝钉。它可以有效地防止螺丝钉飘走，从而避免“螺丝钉大追捕”的事件再次上演。有了这件工具之后，执行任务的人就可以对哈勃望远镜实施“大手术”，拆卸100多个这样的小螺丝钉，然后把这些螺丝钉放到回收盘里，包起来收好。惠普尔发现：“为机器人执行任务而设计并接受过测试的特制工具，在人类执行维修任务时也可以有效地发挥作用。”

SM4任务是最富有成效的哈勃望远镜维护任务。它之所以如此成功，部分原因就是这些为机器人设计的工具。在任务执行过程中，他们也遇到了一些机器人难以处理的意外情况。有一次，宇航员迈克·马西米洛在拆卸一个扶手时，发现一个螺栓滑丝了，用手工工具根本无法拆除。在考虑了一会儿之后，他选择用暴力拆除的方法卸下了这个扶手。

在比较人和机器人执行维修任务的优劣之处时，戈达德团队对两者在时间上的差距进行了量化分析：机器人完成这项任务的计划时间是73天，其中维修工作需要61天；如果由人类来完成这项任务，那么从航天飞机发射到着陆一共只需要13天，其中维修工作需要6天。

惠普尔最后断定，由人完成维修工作耗时少、效率高，由机器人完成维修任务，耗时较多但时间限制少。交互的时滞使遥控机器人的“行动–响应”周期变得特别长。惠普尔面对着一个微妙的难题，必须在成本、复杂性、时间、人的临场感等因素中做出取舍。

哈勃望远镜的维修任务引人注目，但这些任务与冯·布劳恩最初提出的更换胶卷的任务并没有多大的不同，从本质上讲，它们都是机械维修任务。人类特有的能力来自灵巧的双手和人体对物理环境的充分了解。不过，戈达德团队提出的时间问题将空间维修任务与远比它广泛的人类探索活动联系起来了。

火星探索漫游车（MER）任务的首席科学家斯蒂芬·斯奎尔基斯，经常因为任务进展缓慢而不胜烦恼。他说："野外考察一周的工作量，火星漫游车需要4年的时间才能完成。它的进度慢得让人无法忍受。"惠普尔关于哈勃望远镜维修任务的发现引起了他的共鸣，他也认为机器人动作缓慢，而且远程空间作业不可避免会有时滞问题（哈勃望远镜维修任务的时滞为几秒钟，而火星探索任务的时滞为20分钟）。科学家们（确切地说，野外地质科学家们）认为，人类在同周围环境进行内容丰富的实时交互时，所表现出来的特殊洞察力是值得称道的。

因此，在考虑人与机器人在空间探索中到底应该扮演什么角色这个问题时，月球和火星探索活动中凸显的时间问题让我们把关注的焦点再次投向野外地质学，也就是罗勃·巴拉德利用"阿尔文"号与遥控水下机器人进行的科学研究。

亚利桑那州立大学地球与空间探索学院的创立者基普·霍吉斯是一位研究成果丰硕的野外地质学家。在谈到自己的工作时，他说"最好由一两名地质学家独自在野外开展工作"。地质学家的足迹应该遍及整个地球，还需要提出多种假设。随着研究人员停下来认真研究所遇到的情况并对研究计划做出相应调整，这些假设也应该随之变化。霍吉斯在工作中追求的首要目标是制作一幅地质图，大致表现出研究地域可能的地质演变历程。他强调，从职业特点来看，地质学这门科学"对创造性思维的依赖程度更高，循规蹈矩的执行力相较之下并不重要"。霍吉斯认为，野外地质学研究"似乎离不开自主机器人的辅助"。

令人意想不到的是，地质学的研究区域分布最广，但是在20世纪却引发了激烈的论战。历史学家内奥米·奥利斯克斯指出，美国地质学家在几十年的时间里拒不接受"板块构造学说"的部分原因是，这个理论对他们钟爱的野外地质研究方法构成了威胁。支撑"板块构造学说"以及类似理论取得浩大声势的基础是，一些基于实验室研究、量化

程度更高的科学研究取得了迅猛发展。对于野外地质学家而言，选择接受哪种理论其实就是在两种不同的人生道路中做出取舍。罗勃·巴拉德利用“阿尔文”号对水下野外地质学研究的成功干预（以及地质学家后来抵制更抽象、数据量更大的远程临场），就是在这种情况下做出的一种选择。

尽管野外地质学是一门依赖直觉、默默无闻的学科，但是在阿波罗计划中却占据了主导地位，宇航员与为他们培训的地质学家之间合作得也十分成功。在完成了着陆月球的早期任务之后，阿波罗宇航员的注意力发生了转移，开始考虑他们需要在月球表面完成哪些工作。他们迫不及待地参加地质学培训，同地质学家与行星科学家密切合作，学习野外研究的方法。在拥有了跟野外地质学硕士研究生差不多的经历之后，宇航员们在从事科学研究时态度都十分认真。

这种变化得到了美国航空航天局的认可。在做阿波罗17号登月舱的最后飞行准备时，美国航空航天局将从未去过太空的地质学家哈里森·施密特的名字加进了机组人员名单，让他取代了一位有经验的宇航员。在阿波罗17号机组人员中加入一名科学家，这似乎是对科学家的一种恩惠，是对他们重要价值的一种认可，科学研究的质量也可能会因此有重大提升。的确，积极游说改变机组成员结构的美国国家科学院等组织对于施密特出现在任务名单中的现象，是持支持态度的。

但是，并非所有科学家都持有相同的立场，至少有一位参与程度很深的地质学家认为这是一场灾难。这位地质学家认为，施密特在月球表面做出的一些判断过于草率。他更倾向于用宇航员，因为他们都接受过地质学硕士水平的专业培训，举手投足就像一位实验室技术人员。他们严守纪律，老老实实地充当地面科研人员的眼睛和双手，而不会在科研方面做出一意孤行的判断。这位地质学家说：“接受过良好地质学专业培训的宇航员在言谈举止方面并不亚于受过训练的地质学

家。其他宇航员则会更严格地遵从计划安排，更愿意按指示和指令行动。”

在这位地质学家看来，这些宇航员与那些被绑在机械手末端、执行哈勃望远镜维修任务的宇航员没有多大区别，都是各种专业人员延伸出来的可以移动的“眼睛”和“手”。事实上，现在仍然与施密特合作开展研究的霍吉斯认为，阿波罗项目“其实就是远程机器人技术”，因为“这项工作的实质是将宇航员当作工具，努力生成数据并传送回地球上的科研实验室，供分析研究之用”。

布朗大学的吉姆·海德为准备执行阿波罗15号野外考察任务的宇航员戴夫·斯科特进行了培训。海德强调，有必要放松对宇航员的限制，让他们也可以做一些决定。时间是一个非常重要的稀缺因素，而且科研任务在进展上经常面临压力，这些情况意味着人必须拥有足够的知识，才能在月球表面快速移动。（当然，这么快的节奏也是人亲临现场造成的结果，因为他们拥有的维持生命所需的资源非常有限。）

如果我们把宇航员看成太空探索系统的一个部分，而不是在月球表面冒险的一个个孤立的人，就能更好地了解他们的状况。登上阿波罗号之后，他们可以通过无线电与月球轨道上的一名同事以及与休斯敦的地面控制台取得联系。在登上漫游车之后，漫游车上安装的电视摄像头会把实况信号发回地面。在后期任务中，地球上的操作人员可以操控相机的云台，追踪拍摄宇航员的活动（就连宇航员乘登月舱升空返航的实况视频也被传送到了地球上）。

有了远程控制摄像头之后，我们只需稍微发挥想象力，就能想象地球上的人员通过同一个界面指挥漫游车执行任务的情况。20世纪70年代，苏联就是通过地球上的控制台操控两台月球漫游车的，整个活动持续了近一年时间。对从地球到月球这样的距离而言，远程操作的时滞非常短，仅为几秒钟，因此具有非常高的价值。不过，美国航空

航天局从来没有将遥控漫游车送到月球上（尽管目前有一些个人资助的项目瞄准了这个目标）。

面对由从事探索活动的科学家、从事技术工作的宇航员和准实时遥控漫游车构成的月球地质研究体系，人们不禁要问：在其他行星上从事探索和科研活动时，到底需要什么样的临场方式呢？

为了回答这个问题，我们不妨做一个思维实验，想一想阿波罗17号宇航员的月球行走距离：22个小时（分三次），行走距离约为35千米（22英里）。如果将其画成一个完整的圆，它的面积约为100平方千米。

现在，我们考虑月球探测机器人“跳跃者”的情况。从宇航员队伍退休后在麻省理工学院任教的杰夫·霍夫曼就在从事这种机器人的研究工作。用脉冲电流发动一台小型火箭引擎，就可以让这些机器人在月球表面“跳跃”行走。由于月球的万有引力很小（约为地球的1/6），因此这些跳跃可以跨越几千米的距离。

在我们的这个思维实验中，探月任务从地球开始，将两台“跳跃者”机器人送到月球上。在月球着陆之后，专门负责绘制地图的第一台“跳跃者”机器人就会给自己松绑，然后以跳跃的方式圈出100平方千米的勘测区域，并利用高清晰度相机、激光雷达、分光仪以及其他传感设备为整个区域绘制一幅地图。地图上标记有地形以及其他测量数据，精确程度非常高，可以达到毫米级。机载电脑处理完这些数据后，通过遥测线路发送回地球。随后，位于休斯敦的数字制图员就可以根据这些数据，娴熟地绘制出一副毫米精度的勘测区域地图。

之后，这些数据被转交给一组地质学家。在接下来的几个月时间里，这些地质学家通过电脑显示器研究这些数据集、地形图和整个勘测区域。他们利用虚拟现实头戴显示器设备或者特殊的拟真室，模拟在该环境下驾驶月球车的体验。由于数据集的比例尺非常小，因此在

他们感兴趣的地方，他们几乎真的可以“停下来”认真勘查（当然，他们不会踢到石头）。科研人员一起探索，不时地停下来，就展现在他们眼前的情况以及下一步计划展开深入讨论。

几个月之后，地质学家们会汇总他们的研究成果，在勘测区域里选出有价值的地点。最后，他们会提出一个采样计划，并交由一群工程师改编成一组指令和路线，由一直在月球表面待命的“跳跃者”二号付诸实施。

“跳跃者”二号的功能不是拍摄图像，而是钻孔、刮擦、锤打和采样。假设地质学家根据“跳跃者”一号制作的地图确定了100个点位，那么在接下来的几天里，“跳跃者”二号就会有条不紊地收集样品和石块，然后送到实验室仪器中。

实验室仪器可以分解、分析样品。如果这套仪器足够先进，它甚至还可以把样品分类，放进标本袋，然后装到一个小型火箭上。随后，这个火箭会从月球起飞，回到地球（20世纪70年代，苏联的登月计划就采取了这种做法）。

整个过程的进展速度远比为期三天的阿波罗17号登月活动缓慢，需要3~6个月的时间才能完成。

我提出这个思维实验的目的并不是倡导设计一个类似的任务，尽管这对现有技术而言并不是一件难事。我希望通过这个实验强调一个问题：宇航员的哪些行为，是地质学家在地球上通过研究超高精度的3D图像所无法实现的？研究土壤？获得“情景意识”和“临场感”？与周围环境进行实时交互？火星探索漫游车项目产生的真实体验有助于回答这些问题。

2003年，两辆移动式机器人——“精神”号与“机遇”号，从地球发射升空，并于2004年分别抵达火星的两极。两台机器人各携带一套照

相机、仪器和工具，因此它们可以在火星上穿行几千米的距离，并完成绘制地图、钻孔及岩石分析等工作。这次科研活动的首要目标是寻找火星早期有水存在的证据，终极目标是寻找地球以外的生命。

尽管按照最初的计划，这次活动的持续时间仅为90个火星日，但是两辆探索漫游车在火星上的实际工作时间延长了许多倍。2009年，“精神”号陷入了泥土，并于2010年失去联系，而“机遇”号则在计划截止日期之后又工作了10年。截至2014年，“机遇”号的行走距离（40.25千米）比阿波罗17号月球漫游车和苏联的Lunokhod二号月球漫游车的行走距离（分别为35.7千米和39千米）都长，创造了一项地外行星漫游车行驶里程纪录。

多年来，这些漫游车一直由美国航空航天局位于加利福尼亚州帕萨迪纳的喷气推进实验室控制。实验室的工程师和科研人员坐在没有窗户的房间里，通过向漫游车发出指令、审阅数据，进行对火星的全面探索（在刚开始的几个月里，这些科研人员都需要“按计划”执行一些科研任务。之后，很多人都会返回自己所在的研究所，通过互联网参与后续工作）。

漫游车需要太阳能电池板为其提供动力，因此大多数操作都需要在火星上的白天进行。火星日比地球日长约40分钟，有时候两者正好同步（此时，这些科研人员上的是白班），但有时候火星日和地球日相反，导致科研人员总上夜班。有的佩戴多块手表，分别显示火星时间和地球时间。这种不规律的作息时间，或者说“行星时差”，会对人的工作表现造成负面影响，长此以往，就会影响到漫游车的科研产出效率。

不过，在21世纪的头10年，已经有为数不多的科研人员适应了这种生活。他们早晨开车去上班，但他们的工作对象却在另一个星球上。在与他们相距不远的地方，“捕食者”无人机的机组人员也过着类似的生活：早晨开车去上班，从事的工作则是参与远程战争。



图5–4 亲临火星的感觉。参加火星探索漫游车科考活动的科研人员正在查看地图和科考计划
图片来源：威廉·克兰西的《火星探索》。

这是一种异乎寻常的工作。地质学家进入这一行的原因有可能是他们喜欢从事户外考察活动，但现在，他们却被关在有空调的房间里，整天不是盯着显示屏，就是开各种各样的会议。与传统的野外地质考察有所不同，他们需要通过架设在两个不同行星之间的有时滞、带宽有限的链路，协调人和机器人，让他们进行更密切的合作。

比尔·克兰西是计算机和认知科学家，研究过科研人员在与世隔绝的北极环境中使用机器人的情况。后来，他的注意力转移到了喷气推进实验室的工作人员身上。在研究这些工作人员所做的火星探索工作时，科研人员产生的对遥远行星的临场体验激发了他的兴趣。

公开描述和媒体报道（包括美国航空航天局发布的资料）常常把火星探索漫游车称作“机器人探索者”。但是，这种叫法显然是不对的。机器人无法自主探索，无法做出判断，也无法完成任何科研活动。因此，它们不能被称作“机器人探索者”，而更像遥控水下机器人——二者唯一的区别是指令与响应之间的20分钟时滞。

克兰西说，漫游车是人们“当作工具使用”的机械装置，是人类延伸到地球以外的“眼睛”和“手”。他认为，漫游车不像科学家，而更像可编程的移动实验室；它不是认知代理人，而是物理替代者。他在相关论述中描绘过科研人员“化身为漫游车”的体验。用“捕食者”无人机飞行员的话来说，科研人员想象着“自己置身于漫游车的景象”，结果发现自己好像真的亲临其境了。想看漫游车后面的情况，就会转身朝自己的身后看；想看石头四周的情况时，就会拼命伸长脖子向一侧看。一位科研人员说：“这是一种人机合一的奇怪感觉。漫游车变成了我们的一部分，我们也变成了漫游车的一部分。”还有一位科研人员说：“我的整个身体都变成了漫游车。”

既然有这样的感觉，把漫游车称作“机器人探索者”又有什么意义呢？

在这个问题的引导下，克兰西闯进了野外科考与远程临场的研究领域。他发现，一些任务报告不断地“把机器人在远程控制下做出的行为视为它们的自主行为”，例如“‘精神’号又采集了一些右前轮图像”。

首席科学家斯蒂芬·斯奎尔斯称，为了生计，他“在另一个世界里从事地质研究”，而“行星探索、机器人技术和管理等因子构成了一个非常奇怪的组合”。在谈及团队的研究工作时，他常常称他们的团队就在火星上。比如，他会说“我们在平原地区勘查的时候……”，还会说“我们已经到达‘耐力’号陨石坑……”（意思是“我们眼前是斜坡”）。与“杰森”控制车内部环境相似的是，克兰西发现火星探索漫游车工作

小组也有一种强烈的临场感，仿佛置身于所研究的地形地貌。“通过漫游车，我们仿佛全部来到了现场！”

火星与地球的平均距离是1.4亿英里（约2.25亿千米），这意味着从地球上发出的指令要以光速传播约12分钟之后才能到达漫游车，漫游车根据指令完成的动作要在约12分钟之后才能被地球上的人看到（实际所需时间为3~22分钟）。在实际操作中，这意味着研究团队的工程师们向漫游车发出指令并看到执行结果的频次大约为每天一次。

密切关注这些任务的人常常认为，如此长的时滞会彻底破坏人们对火星探险的临场感，但克兰西的研究发现情况正好相反。时滞催生了每天循环一次的交互周期，“增强了协同作业的感觉，进而让人们产生了亲临火星的体验”。在使用“杰森号”的过程中，机器人科学家逐渐把“杰森”的控制室变成了海底世界实时研讨会的会场。而在火星项目中，人机交互的日循环使人们深入地沉浸在机器人发送回地球的数据之中，临场感实际上得到了加强。

“精神”号与“机遇”号不会自主工作，而是成了科研人员身体和感官的物理替代品。从认知角度看，研究工作仍然是在帕萨迪纳完成的，只不过在空间与时间上发生了一些变化（空间上是上亿千米的距离，时间上是周期一天的日循环）。“捕食者”无人机操作人员的临场感对他们所处社会环境有很强的依赖性，与之相似，科研人员因为自己的感知、团队合作、星际系统和漫游车而产生了身处火星的感觉。地球上的团队可以看到火星的物质，分析所接收的数据和图像并做出决定，将指令发给漫游车，然后监控漫游车根据指令采取的行为。用克兰西的话说，这些行为构成了“远程机器人的活动、评估和编程的日循环”。至于说整个循环过程需要一天，而在地球的沙漠里用地质锤敲打岩石只需要几毫秒，从长远来看，两者之间的差别几乎可以忽略不计。

现在，我们回想一下斯奎尔斯在评价漫游车工作进展缓慢时经常说的那句话：“野外考察一周的工作量，火星漫游车需要4年的时间才能完成。这种进度慢得简直让人无法忍受。”这个观点似乎有点儿奇怪，因为它会让人误以为派宇航员登上火星的主要原因是人的速度比漫游车快。几乎没有人认为这个理由站得住脚，因为将人送上火星，哪怕只在那里停留几个月的时间，也需要耗费大量财力。借助漫游车，火星上的研究工作已经持续了10多年的时间了，但其代价仅相当于一次航天飞行的成本。

克兰西解释说，从斯奎尔斯对漫游车速度的评论可以看出，科研人员的心中有一定程度的对火星临场感的需求。远程机器人技术可以提供临场感，但是需要付出一定的代价。克兰西说：“科研人员希望可以亲自前往考察现场，但机器人技术却让他们远离现场。”远程机器人取得的成功，反而让科研人员意犹未尽。就像“捕食者”无人机的飞行员所感受到的有限临场感一样，漫游车给科研人员带来的临场感也是“不尽如人意”。

科研人员认为，“地质学家一分钟的工作量火星探索漫游车需要花费一天的时间才能完成”的观点是一个“根本性的谬误”。事实上，等待时间有利于研究者分析数据、认真思考，并且方便科研小组集体商讨下一步活动。像“杰森”的控制小组一样，地球上的科学家们在执行下一个步骤之前可以先深入讨论，然后做出决定——在空间和时间两个维度上做出新的工作安排。

漫游车被称作“机器人探索者”的一个原因是，人们认为这些机器人可以自主作业。但是，20分钟时滞造成的远程环境浸入感有更丰富的内容，可以帮助我们在具体环境中实现漫游车的自主性。在等待地面指令的时候，“机遇”号应该可以利用漫长的时滞执行本地指令。而且，“机遇”号也确实完成了无数的本地反馈循环和维修工作，在没有

人类干预的情况下，控制所有仪表并保证漫游车处于健康稳定的状态。

但是，在实际情况中，漫游车的自主性所发挥的作用是，为人类工程师操控漫游车提供了一个便利条件。举个例子，漫游车在遇到一堆岩石或者障碍物时，可以根据自带相机拍摄的图像，利用AutoNav程序自主地设计行进路线。但是，在这个过程中，漫游车每10秒钟就要停下来一次，对着眼前的地形观察20秒钟。因此，这样的自主性非常费时。如果人类事先规划好前进路线，漫游车的速度就可以提高三倍。在另外一种自主模式下，漫游车可以根据科研人员设定的标准自动选择岩石目标。在所有模式下，自主性都能让机器人完成人类操作员设定的特定任务，但也会涉及一个平衡问题。例如，要让漫游车更快速地到达指定位置的话，地球上的人就需要花费时间完成大量的分析、规划工作。

用克兰西的话说，这里的自主性其实就是“人、技术和任务环境之间的相互关系”。事实再次证明，只有在特定背景下，自主性才有意义。火星探索漫游车项目的一位机器人技术工程师发现，他帮助设计制造的机器人在野外勘查现场并不是一个可以自由行动的智能体，而更像一名“合作伙伴”；不像一个技术型机器人，而更像人类的合作者。对于这个发现，他感到非常“惊讶”。很显然，这位工程师之所以感到惊讶，是因为他在实验室里建立的自主机器人概念与机器人在现实世界中的应用发生了冲突。

有人指出，人类亲临火星将会提升野外勘查的效率。但是，为什么要追求效率呢？花更少的时间，做更多的工作，到底有什么好处呢？他们的回答是，因为野外勘查的时间非常宝贵、稀缺，所以人们一直梦寐以求在尽可能短的时间里获得尽可能多的数据。但是，火星探索漫游车项目的野外勘查持续了至少10年。而且，在火星日的间隙

里，科研小组抓紧时间厘清思路、达成一致意见、制订后续计划，因此这些时间并没有被浪费掉。

阿波罗号宇航员常常谈及他们在执行任务时赶时间的情景。由于人类的存在，他们必须在限定时间内完成大量工作。在他们看来，既然科学研究是一种智力活动，那么将认知结果及时传播出去肯定很重要，不是吗?

我询问过一些野外地质学家，他们的工作为什么需要与周围环境发生实时交互？如果放慢进度，将会造成什么损失？经过一番讨论，最后，基普·霍吉斯说："我一直认为，野外地质勘探在等待时间长短这个方面没有任何要求。"

别忘了，我们讨论的是地质学。海洋深处以及地球、月球和火星表面，这些环境成千上万年来都没有发生太大变化，研究它们的时间足够充裕。

当然，瞬息万变的现象俯拾即是，在研究这些现象时，科研人员必须实时掌握相关情况。比如，泥浆和熔岩的流动，或者在"阿尔文"号造访的深海热液喷口区生物的生活习性。但是，即便是观察这些生物，大多数生物学家也不愿意打扰它们的生活。因此，简单的高速摄录装置可能是较为合适的观察工具。在行星探索活动中，研究对象的变化速度都非常慢。对于岩石而言，由人类在两周内完成勘查任务（成本为1 000亿美元），还是由机器人耗时10年完成这项任务（成本为10亿美元），两者之间没有多大的差别。

美国得克萨斯大学的天文学家丹·莱斯特认为，我们应当反思传统的探索概念。他指出，尽管人类科学家和他们的火星漫游车显然是在从事探索工作，但美国航空航天局仍然将"探索"一词仅用于指人类的航天飞行，美国国会在立法时则使用了更笼统的"人类（在太空中的）

临场”。莱斯特说：“如果美国国会在审批一个价值170亿美元的计划时使用‘人类临场’这个词，就说明这个词值得我们加以关注。”

既然“精神”号和“机遇”号提供的这种远程临场感足以满足人们的需求，那么为什么还要求人类“亲临现场”，去往火星这样一个陌生的环境呢?

莱斯特警告说，在他看来，太空探索“与类地行星远程机器人研究是大不相同的”。他指的是等待时间，即通信过程中信号和数据的延时传输。莱斯特认为，这些等待时间让人在火星上的临场感变得“无比糟糕”。在他看来，临场感要求等待时间必须处于人类反应时间（约200毫秒）的范围内，而火星到地球的距离是无法满足这样的要求的。

在200毫秒之内，光传播的距离约为3万千米（约1.8万英里）。莱斯特把这个距离称作“认知地平线”。在这个距离以内，我们可以产生远程临场感，反之则不能。月球的距离比认知地平线远6倍，火星到地球的距离是这个距离的几千倍。

莱斯特与美国航空航天局的哈利·特洛森认为，即使无法去往火星，人类也必须实现在火星环境中的实时临场感。如果从地球发射一个质量体，让它到达围绕火星的运行轨道上，与代价昂贵、危险性高、发射至火星表面的质量体相比，二者对质量体的质量有不同要求，前者可以接受的质量仅为后者的1/2。莱斯特和特洛森支持“在轨机器人技术”，让宇航员在围绕火星或其他星体的运行轨道里操控星体上的机器人。他们指出：“由人类临场衍生的探索活动可能不需要人类亲临现场，尽管它可能需要人类待在附近的某个位置……这样做的意义其实就是将人类的感知从某个可能不是很友好的地点传递至另一个比较友好的地点。”

这种认知延迟的观点比认为远程临场并不真实的观点更值得赞赏，但它也会导致另外一个错误倾向，让人们以为有时滞的临场感不

是一种真实的临场感。飞行员在操控“捕食者”无人机时，时滞比莱斯特和特洛森的认知地平线要长近10秒钟，我们可以询问他们是否体验到了临场感。比尔·克兰西对火星探索漫游车团队的研究，以及他收集的大量经验与系统数据，都与这个错误假设完全相反。时滞为什么会破坏临场感？如果我们的数据是几分钟甚至几个小时之前获取的，难道我们就无法产生临场感了吗？

如果研究对象成千上万年来都没有发生变化，那么我们等待20分钟又有什么问题呢？莱斯特和特洛森可以接受人类临场感在空间上的变化，但却不愿意接受它在时间上的变化。

我的目的不是支持或反对人类的航天飞行。无论在过去还是将来，证明航天飞行有重要意义的理由总是与工程示范、民族尊严和国际竞争有关，而与认知或行为任务的优点则关系不大。事实上，航天飞行突出地体现了空间、时间、任务复杂性、机器人技术与人类体验之间的关系。在近地轨道，等待时间比较短，直接操控远程机器人系统可以完成很多任务。在时滞稍长一点儿的月球上，远程操作展现了美国航空航天局尚未发现的巨大潜能。火星上的时滞长得多，人类的行为和作用必须通过工作实践和自主机器人等技术分布到时间这个维度上，创造出新的工作方式。所有这些并不意味着我们从此以后可以体验在火星地表的临场感，而是为我们带来一个新的合作方式，赋予我们新的科研方法以及探索我们这个世界与太阳系的新方法。

在太空中，由于距离遥远，传播认知结果需要耗费时间，但也便于我们了解自主机器人作为人类的合作伙伴是如何为整个太阳系绘制地图的。在下一章，我们将讨论如何在地球表面将人类对世界的理解编写到自主型系统的程序之中。

第6章
未来世界：人类和机器人角色的重新定义

人类与机器人如何合作，是我们当下乃至未来面临的一个至关重要的问题。

载人、遥控和自主技术共同演化，三者之间的界线逐渐模糊。

“水下机器人先驱ABE去世，享年16岁。”

——《纽约时报》，2010年3月15日

自主型深海潜水器（ABE），是唯一由《纽约时报》为其刊登讣告的水下机器人。它是一台大小与小型汽车相仿的机器人，是为完成深海探测而设计的。

事故发生在智利海岸线以外的深海之中，原因可能是海水的压力作用导致水下机器人ABE的耐压舱发生内爆。1996年，水下机器人ABE首次执行海底测绘任务，至事故发生时，正在执行第222次下潜任务的ABE已经处于“半退休”状态。人们决定用更先进的水下航行器“哨兵”号来取代它。水下机器人ABE的毁灭令当时正在附近一艘海洋调查船上监控它的发明者们心情沉痛，但这次事故本身也证明了ABE的价值，因为没有一个人在这次事故中丧生。

1989年，我在伍兹霍尔海洋研究所工作时，参与的就是水下机器人ABE项目。最初，水下机器人ABE接受的任务是下潜至热液喷口群附近的海底，然后利用某种锁扣装置，长期停留在那里。按照计划，ABE会定期“苏醒”（也许是一个月里每天一次，或者是一年里每月一次），对热液喷口区进行精密勘查，测算数据，拍摄照片，记录异常地质特征与生态系的兴衰过程。在完成了ABE早期的计算机设计工作之后，我转而从事其他项目，ABE项目的主要参与者戴纳·约杰、巴里·瓦尔登和艾尔·布拉德利则留下来，小心地呵护着ABE走过漫长的成熟期。

但是，ABE从未执行过当初设计的任务，而是以前所未有的精度绘制了海底世界的地图。也就是说，它一边沿着笔直的航迹线在宽阔的海底世界来回运动，一边收集海量的地形数据。约杰回忆说：“我们在设计的时候从未想过让ABE沿直线运动，但是我们必须根据具体情况调整我们的计划。”当时，科学家们希望把宝贵的资金用于绘制适合地质勘查的地图，于是ABE团队做出了相应的调整。

ABE并不是载人潜水器“阿尔文”号的替代品，而是与后者一起发生了某些演变。巴里·瓦尔登是ABE团队的三名主要工程师之一，也是伍兹霍尔海洋研究所“阿尔文”号团队的负责人。ABE在执行早期下潜任务时，大多是跟随“阿尔文”号一起出海的。夜间，“阿尔文”号在母船甲板上充电，ABE则离开母船执行下潜任务。有一次，ABE无法返航，“阿尔文”号还参与了救援工作。

在1999年前往东太平洋海隆执行任务的途中，他们驶过复活节岛两天之后，麻烦就接二连三地出现了。约杰本来计划跨越洋中脊测量并集合一批聚磁数据。但是，工程师出身的地质学家比尔·瑞安一再要求约杰不要仅限于局部测量，而是安排ABE完成更多的系统勘查。ABE下潜到2 600米（接近8 500英尺）的深度，在崎岖不平的火山地形上方约20米（65英尺）的水域中前进，同时采集声呐数据和影像资

料，并于天亮前返回海面。约杰发现，如果动作快，他还有足够的时间下载数据、绘制地图、完成初次剪辑，并在科研人员于第二天上午乘“阿尔文”号潜入海底之前，将打印好的地图交给他们使用。

由于时间还有剩余，约杰就将8次下潜任务的航迹线集中到一幅地图上，覆盖了1公里×4公里的海域。约杰至今还记得，在他将这幅地图递给冰岛地质学家卡尔·格伦沃尔德的时候，他忐忑不安地问道：“你看这幅地图怎么样？”格伦沃尔德没有吭声。约杰回忆说：“所有的地质学家几乎都这样。如果你递给他们一幅地图，而他在两分钟之内一言不发，就说明你打动他们了。”格伦沃尔德没有吭声，是因为他正在分析地图的一致性、样式和地质特征等细节。然后，他抬起头看着约杰，说道：“我已有的所有冰岛地图都比不上这一幅！”就这样，自主机器人通过向人类科研人员提交数据，证明了自己的价值。

有史以来，第一次科学家们可以拿着一幅真正的地图，乘坐“阿尔文”号下潜到海底深处探测崎岖不平的火山地形。回想过去，人们数百次乘坐“阿尔文”号前往热液喷口区，竟然没有人绘制这些地域的地形图，这确实让人费解！自主机器人提供的量化地质测绘图，为“阿尔文”号的浸入式野外地质勘查做出了贡献。

在取得这次重大突破之后，ABE在随后10多年的时间里又完成了更多的地质测绘工作，在导航精度、数据密度和图像质量等方面不断进步。它的温度与化学传感器甚至能探测到从热液喷口升起的热液柱，因此，2004年，约杰和同事们想出了利用这些数据引导ABE发现新热液喷口的方法。

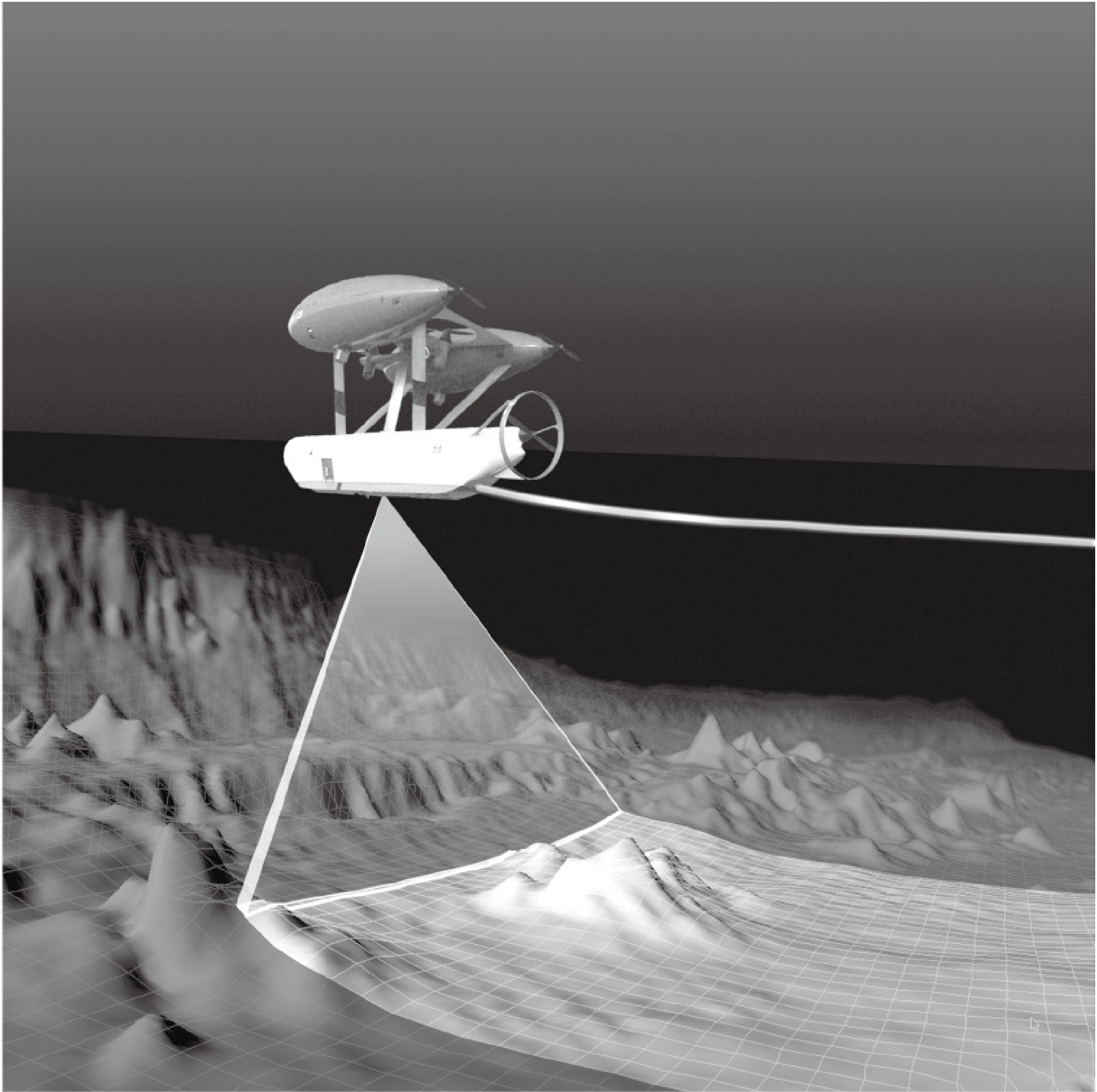


图6–1 正在热液喷口区上方沿着勘查航迹线进行深海精密测绘数据采集的自主型深海潜水器（ABE）。图中是ABE利用扫描声呐探测热液柱的情形，ABE后方的阴影线表示它测量的温度和化学数据
图片来源：华盛顿大学环境可视化中心。

接替ABE的水下机器人“哨兵”号就是针对这个任务设计的。在2010年“深水地平线”漏油事件发生后，“哨兵”号利用与ABE相类似技术，对马康多深水井喷出的水下油柱进行了测绘。结果显示，大多数的溢出石油并没有被海水冲上岸，而是悬浮在海面下，形成了一片巨大的“云”。

水下机器人ABE的自主性是如何形成的呢？在勘查一些复杂地形时，“杰森”等遥控机器人面临着重重困难，在这种情况下，“阿尔文”号有可能遭遇危险，而ABE不带电缆，操控非常自由，因此可以抵近勘查。ABE身上有大量的巧妙设计，就是为了让它避开所有障碍，安全地完成任务并顺利返航。在遇到麻烦时，它也有办法浮出水面并请求帮助。不过，它的基本航径都非常简单，通常是沿着笔直的航迹线前后运动，以最大可能地覆盖整个区域，确保不留死角。就像我们前面设想的登月机器人“跳跃者”思维实验一样，探索活动实际上仍然是由科研人员完成的。他们通过仔细阅读各类资料，解释测绘数据的含义，来实现远程临场。

而且，随着声学通信技术不断进步，ABE深海探索的自主性实际上正在逐渐减弱。在水下机器人ABE完成的早期下潜活动中，它偶尔会发出声学脉冲信号来表示自己仍然在正常工作，或者海面上的人发出一个声学编码以取消任务，除此之外，就再也没有人力投入了。工程师里奇·卡米利回忆说：“我们还可以查看水面追踪仪。除此之外，我们没有其他办法去了解海面下的情况。”

不过，水中传递数据的能力逐渐得到了发展。老式的电话调制器可以把计算机数据转换成一堆“毕毕剥剥”难听的声音，而水下声学调制解调器则可以类似方式和差不多的速度，在水下将数据包传递至几千米以外的位置。通过这些调制解调器，ABE等自主遥控机器人可以上传文本信息等数据包，报告自身状况、导航信息、下潜深度、电池续航时间，甚至还可以上传传感器探测的科研数据和图像等。与此同时，海面上的科研人员也可以通过向水下机器人发出新指令的方式，调整探测活动的计划安排。

在2009年的一次下潜活动中，ABE的机载主导航陀螺仪发生了故障。为了继续执行这个颇具价值的潜水任务，海面上的工程师通过速度很慢的链路，用“操纵杆”向水下机器人发出一些简单的指令，指挥

它每次沿着某个方向前进几米（与20世纪70年代苏联工程师通过操纵杆指挥Lunokhod月球漫游车的方式非常相似）。接下来，科研人员需要考虑的问题不是如何增强系统的自主性，而是如何设计新的显示装置和算法，进行实时数据分析。

与地球到火星的通信一样，水下声学通信也有局限性。比如，水下声学通信的带宽非常有限，只是寻常咖啡店无线保真（Wi–Fi）带宽的零头，通信的时滞要以秒为单位来计算，与从地球发射无线电信号到月球上所需的时间差不多，甚至更长。尽管ABE与“哨兵”号的操作人员希望与水下机器人始终保持联系，但是在长时间的下潜任务中，他们宁愿将母船开走，去完成其他工作。在这种情况下，水下机器人的自主程度就更高了。

即使水下机器人在整个下潜过程中都不与人发生联系，它们依然会定期回到母船上。在水下机器人下潜到海底时，工程师们往往认为这时自主机器人技术就开始发挥作用了。但是，从广义上看，探索系统是由载人机器（船）和无人驾驶机器构成的，后者被前者派出去之后，就进入了自主作业阶段，直到它再次回到前者那里，以交换数据、获取能量和接受指令。就像法航447号航班的搜救工作一样，自主机器人的工作是周期性的，需要人类的定期调整，同时对位置、带宽以及一系列其他因素都有依赖性。这些情况再一次说明，自主机器人技术离不开具体的情境。

詹姆斯·金塞是深潜实验室的一名年轻的工程科学家。刚到实验室工作时，他踌躇满志，希望研发出自主性更高的机器人。他建立了越来越复杂的模型，模拟从热液喷口喷出的热液柱向整个海洋蔓延的情景，并试图指示机器人根据传感器微妙的探测结果下潜到海底，勘查这些热液喷口。不过，随着时间的推移，金塞发现，“为机器人赋予过高自主性的做法可能从一开始就有问题”。海洋探索的特性决定了他们必然会遭遇任务界定模糊、环境复杂多变等问题。事先编好的程序相

当于一个个假设，是模拟世界运行规律的模型，但是在现实环境中，这些模型却未必有效。金塞说：“我想，这种做法或许是没有找准自主机器人技术的关注点……我们要求机器人掌握周围环境的大量信息，这个要求可能太高了。”自主机器人技术的抽象概念与实际应用之间的碰撞，曾经令那位火星漫游车工程师莫名惊诧。无独有偶，金塞也有相同的感受。

金塞发现：“让机器人自己做决定会有很多问题，比如，我们无法随时了解它到底在干什么。即使你在监控它，有时候你也会感到莫名其妙：‘咦，它怎么突然向西南方向游弋了？这是出故障了，还是它做出的一个决定啊？’”深海探索耗资甚巨，即使自主机器人没有载人，也不能轻易放弃它。金塞认为：“人们都关心自己的资产。如果这些资产很昂贵，他们就会更加关心。”

而且，通信技术绝不会止步不前。比如，光通信技术越来越切实可行。光通信的主要手段是LED，通过高速闪烁在水中传输数据。在百米上下的短距离内，它们可以实现与Wi–Fi相媲美的传输速度。拥有这种技术的船只可以悬挂一只光调制解调器，让它像街灯一样悬浮在深海中。接着，自主机器人可以通过光通信迅速上传数据。或者，海面上的人也可以在机器人进入视距范围内的时候对它实施远程控制，在它离开这个范围或者光链路中断时则任它自由行动。在这种情况下，自主程度随着位置和带宽的变化而变化。

总体来说，载人、遥控和自主水下机器人之间的界限正在不断模糊化。目前，工程师正在设想多种机器人协同工作的海洋探索前景。这些机器人有的是载人的，有的是遥控或者自主型的，而且可以随时切换模式。“阿尔文”号在最近一次升级的过程中安装了为自主机器人设计的软件，也许有一天它可以通过光纤电缆同海面上的人取得联系，甚至还可以变成无人水下机器人。

工程师们面临的难题是协调所有机器，让科研人员了解内情，确保机器人的行为体现的是人类的意图。有的机器人拥有光纤电缆等高带宽数据传输渠道，有的机器人的数据传输渠道则受到诸多限制。有的机器人迂回到某个节点附近，快速发送所收集的数据后会再次潜到海洋深处。所有机器人都会根据人类程序员事先编好的程序，或者按指示采取某种行动，或者自行做出某些决定。

在这个新兴世界里，我们可以把自主性看作海洋中的一个形状奇怪的三维云团，有一些机器人正在其中往来穿梭，或进或出。接下来，假设ABE是你的爱车，这团三维“自主性云团”是你居住的社区。在某些位置、某些场合，例如，在公路车道内，或者在一个车队中高速行驶时，你的爱车可以拥有某种程度的自主性。而在其他场合，例如在离信号基站比较远，或者当汽车传感器被冰雪遮盖时，它的自主能力有所减弱，驾驶员需要更多地参与驾驶活动。在驶进、驶出这个云团时，你会根据情况随时打开或关闭自主驾驶模式。

的确，无人驾驶汽车（如果100年前的人没有用“automobile”这个词表示“汽车”，用它来表示无人驾驶汽车倒是非常贴切）的前景引发了无数人对自主性技术的热情和争议。谷歌公司是这个领域最具代表性的参与者，举行过一场组织严密的宣传活动。（谷歌公司的研究大多有专利保护，因此我们在评估它的程序时只能依赖于公开评价。）

几十年以来，汽车制造商一直不停地为自己的产品添加各种自主功能，包括自动变速器、定速巡航、防抱死制动系统等。我家的沃尔沃汽车装有一款软件，只要探测到汽车即将发生碰撞，就会自动紧急制动。（在驾驶这辆车时，我必须充分信任这款软件。）总的说来，汽车制造商会不断采用增量方式，将自动功能作为“安全性”（而不是作为自主性）推销给消费者。梅赛德斯–奔驰汽车公司发布了一款概念车，车的内部被设计成“移动起居空间”。在自主驾驶时，车里的人可以阅读，可以休息。不过，与谷歌无人驾驶汽车不同的是，在梅赛德

斯公司的设想中，“乘客在虚拟与现实世界中同汽车建立了相互依存的关系，并且可以方便地相互影响”。谷歌一直宣扬的则是一种完全自主的设想。谷歌的一位工程师在比较谷歌与其他公司在处理方法上的异同点时说：“其他公司制造汽车的理念是帮助驾驶员更好地驾驶，而谷歌的理念是制造驾驶水平优于驾驶员的汽车。”拼车出行领域的巨头——优步公司近期从卡内基–梅隆大学雇用了大量机器人专家，显然是为了提升汽车的自主驾驶水平。

自2009年以来，谷歌就开始在加利福尼亚的公路上测试自主驾驶汽车，并且声称已经完成了数十万千米的无事故公路驾驶。这些自主驾驶汽车的行驶路线是根据谷歌公司有人驾驶勘查车绘制的地图确定的，对于这些汽车来说，这些地图相当于虚拟轨迹（如果没有这些翔实的地图，这些汽车根本无法独自上路）。在进行驾驶测试时，车上坐有人类安全驾驶员和软件专家，可以打开、关闭自主驾驶系统。谷歌工程师纳撒尼尔·费尔菲尔德说：“我们的想法是由人将这辆车开到高速公路上，然后打开这套系统，在旅程的大多数时间里（也是最无聊的时间）让汽车自主驾驶，最后再关闭系统。”

在亲身体验了一次之后，《纽约时报》的约翰·马尔科夫断言：“从总体来看，用计算机系统来取代人类驾驶员是可行的，这有可能大幅度减少人类驾驶员出错的可能性。”对于谷歌希望将美国公路交通事故伤亡人数降低至1/2的目标，马尔科夫可能是持赞同态度的。谷歌公司对这个项目的宣传折射出软件系统中常有的硅谷式乐观主义。该项目的首席工程师、机器人专家塞巴斯蒂安·特伦对未来的自主型系统满心憧憬：“再也没有交通事故，也不会发生交通拥堵。”

一些持批评意见的人指出，谷歌的自主驾驶观点存在局限性。驾驶测试大多是在加利福尼亚北部和西部诸州完成的。在内华达的汽车驾驶测试虽然取得了成功，但在驾驶时谷歌公司设置了严格的条件，要求天气必须晴朗，路线必须简单易行（谷歌还拒绝披露安全驾驶员

关闭自主驾驶系统的详细信息）。在通过建筑工地时，算法难以胜任驾驶员的职能，只能由安全驾驶员来驾驶汽车。不久前，科技记者马克·哈里斯说，要想成为一名安全驾驶员，可能需要先接受几个星期的培训，这说明由计算机驾驶转变为人类驾驶的过程非常复杂，而且具有危险性。

汽车商业广告和谷歌驾驶测试的地点都是在广袤的美国西部，而城市驾驶的情况则截然不同，往往是在混乱、复杂和动态的物理与社会景观之中穿行，因此会发生大量的社会交互。谷歌承认城市驾驶的难度是公路驾驶的10~100倍。事实再一次证明，有人环境中的问题难度远远大于抽象环境中的问题。

麻省理工学院的约翰·伦纳德参与过一些无人驾驶汽车的定位和测绘基础算法的研发工作。他指出，无人驾驶功能可以完成的工作量，取决于社会交互。我的一位已经过世的老朋友、机器人专家赛斯·泰勒敏锐地发现，城市驾驶中包含数以百计的“短时人际社会契约”，例如扫视街道、视线接触、让人上车、挥手致谢等。在为物理世界和不同物体分配标签这个方面，计算机的学习速度比较慢。正如“捕食者”无人机飞行员证明的那样，以类似方式理解人类身份和意图的技术仍然比较原始。

伦纳德半开玩笑地说，波士顿可以被看作一个极端的驾车环境。他在仪表盘上放置了一个摄像头，用于收集算法难以处理的驾驶问题，包括在交通高峰期并入一条车流量很大的道路，在灰尘或风雪影响视线的情况下保持在车道内行驶，越过几个车道左转弯等。2015年冬，波士顿遭遇大雪天气。由于道路两边堆积了9英尺（约2.7米）高的积雪，而且交通模式也发生了变化，因此，城市驾驶的三维图像一夜之间就发生了显著变化。

我们在极端环境中取得的经验，对未来可能实现的自主型汽车是否有启示作用呢？在我们研究过的一些环境中使用自主技术时经常会

出现一些问题，包括系统故障、用户技术水平参差不齐、注意力管理问题，以及人们过度依赖自动化系统所导致的操作技能下降与自动化偏见增强的问题，而且所有问题都会对无人驾驶汽车产生影响。

无人驾驶汽车需要面对的最大难题是，自主驾驶与人类驾驶模式的转换（我们可以称为“法航447号航班问题”）。在传感器等部件发生故障，或者现实中出现意想不到的情况时，任何关系到生命安全的系统都必须备有相应的处理办法。系统越复杂，发生异常情况的可能性就越大。尽管这些异常情况的发生频率可能非常低，但每天美国人驾车出行的次数超过10亿次，是每天起落航班数的10 000多倍。

谷歌的无人驾驶汽车可能会识别无法处理的情况，并发出警报，让人类驾驶员接管汽车。车上还装有“自主驾驶故障”指示灯（与现在汽车上长期不亮的“发动机故障”指示灯非常相似，尽管它需要的信息远多于后者）。如果在汽车高速行驶时，该指示灯打开，那么我们如何在极短的时间里做出应对呢？如果摆脱了驾驶疲劳的人正在睡觉或者看书，他能不能迅速进入状态，躲开迎面驶来的车辆、路面上的凹坑或者剐蹭事故呢？

在遇到这些难以应对的驾驶问题时，无人驾驶汽车的驾驶员也要面对法航447号航班飞行员曾经面临的挑战。我们在前面讨论过一些身处极端环境的操作人员。与之不同的是，汽车驾驶员接受的相关训练比较少，而且在身体能力、技术水平以及社会经济和教育背景等方面，彼此之间的差别非常大。虽然同样是富有挑战性的环境，但是深海、天空和外太空等极端环境相对来说比较“干净”，而驾驶环境的零乱程度与不确定性都远超前者。

可能是为了回应这些批评意见，谷歌调整了自己的自主驾驶观念，剔除了驾驶员这个惹麻烦的角色。工程师纳撒尼尔·费尔菲尔德说，谷歌发现“人有懒惰的毛病”，而且“他们的态度多变，从有几分道理的怀疑到彻头彻尾的盲目相信，应有尽有”。通过实验，谷歌认为人

类驾驶员不值得信任，无法同软件密切合作，因此他们把软件修改为驾驶员零干预模式。据估计，有93%的交通事故是人为过错导致的，因此谷歌工程师提出了“懒惰的驾驶员”这个说法。（不过，人因专家早就认为人类的过错常常是系统设计和工作方法欠佳造成的。）

2014年，谷歌推出了新款无人驾驶汽车。从设计来看，这款车似乎对公众非常友好，而且不会构成任何威胁。为了降低危险性，车速设计得很慢。车上没有安装方向盘和仪表盘，也没有为人类驾驶员提供任何指令输入渠道。用项目主管克里斯·乌尔姆森的话来说，谷歌公司的目标是“制造出可以承担所有驾驶责任的汽车”。这些全自主型汽车将“在无须人类干预的前提下实现安全的自主驾驶”。

这款新车的操作界面只包含点火和熄火这两个按钮和一个路线显示屏。（人们难免会疑惑：驾驶员有什么办法可以让汽车知道目的地呢？）驾驶员变成了乘客，唯一可以做的事情“就是好好放松，享受旅程”。费尔菲尔德说：“这款汽车有备用系统，不需要人类驾驶员的帮助。它有两台转向电动机。要让车停下来，我们有很多办法。”打开YouTube视频网站上的一些视频，在轻松愉快的音乐声中，我们可以看到一些盲人、残障人士和老年人乘坐无人驾驶汽车，沐浴着加州的和煦阳光，在洁净开阔的道路上纵情享受的情景。

方便残障人士和老年人出行自然值得称道，但是谷歌的新方法带给人们的却是一种倒退，是错失良机。具有讽刺意味的是，作为一家高科技公司，谷歌竟然沿用了20世纪的老套辞令，把驾驶员再次假设成为一个被动的观察者，这不能不说是一种倒退。可以看出，20世纪关于机器人与自动化的三个错误观点在他们的“新”方法上都有所体现：（1）汽车技术必然会朝着彻底自主的方向发展（线性发展观）；（2）自主驾驶系统将把人类驾驶员从驾驶任务中剔除出去（取代观）；（3）自主驾驶汽车可以完全自主地完成驾驶任务（完全自主观）。

人类在极端环境中的冒险活动告诉我们，在恶劣环境威胁人类生命安全的现实条件下，这种乌托邦式自主是靠不住的。的确，与其说谷歌的乌托邦式自主是一种内涵丰富、以人为中心的自动化，还不如说是一种外强中干的解决办法。在自主驾驶汽车里为人类驾驶员留有一席之地的做法，确实会导致模式混乱、注意力不集中和界面不友好等问题，但是这些问题并不难解决，而且极端环境已经给了我们一些应对之策。然而，谷歌工程师却选择了判断力不足的自动化技术，用谷歌研发的软件来处理这些问题。这对工程师来说颇具诱惑力，因为把驾驶单纯地看作一种导航与避免碰撞的任务，可以帮助他们一劳永逸地规避各种难题。

在一些涉及范围不大的本地应用中，这种做法也许是可以接受的（跟机场单轨电车非常相似的冷门应用，例如，在停车场和大学校园里用无人驾驶汽车提供短程运送乘客服务）。但是，作为一种社会活动，驾驶所涉及的内容十分宽泛，在人口构成、经济、文化等方面变化程度非常大。谷歌甚至无法证明它们的编码可以识别这些复杂多变的条件。此外，只要有人坐在车中，就会因为危险性、代理关系和可靠性而引发道德风险，需要想办法解决。谷歌的工程师们一再为自己面对最难的挑战而感到自豪，但是，在考虑这些意义重大、有益于社会的问题时，他们青睐的解决方法却是一些有局限性的算法。

当然，即使在谷歌的自主型汽车之中，依然能看到人的“身影”，只不过人的存在方式在时间和空间上发生了某种变化。具有明显自主性的编码其实是人编写而成的，而且人对这些编码的影响非常深远。我们深入研究一个算法的内部运行机制，以充分了解这个特点。请大家回想一下2007年的美国国防部高级研究计划局（DARPA）大奖赛。在这一年，DARPA赞助的这项赛事第一次记录了发生于自主型汽车之间的碰撞事故，赛事催生的几项技术还成为谷歌汽车的基础性技术。谷歌的克里斯·乌尔姆森是获胜队的首席工程师，谷歌团队的其他几名成员当年也参加了这项比赛。

事故发生时，麻省理工学院的赛车“塔罗斯”正在超越康奈尔大学的赛车“天网”。当时，“天网”的路线规划算法出了问题，正在路边以很慢的速度断断续续地前进。“塔罗斯”上的车载电脑没有把“天网”判定为正在行驶的汽车，而是把它归类为“一堆静止物体”，于是加速从“天网”前面超车。但是，“天网”并不是静止的，而是以“塔罗斯”未识别出的方式慢慢地前进。在“塔罗斯”快速并入“天网”所在车道时，“天网”突然加速，以致与“塔罗斯”撞在一起。结果，这两辆车都没有赢得比赛。

值得赞赏的是，两支队伍进行了会商，并公开了碰撞事故的详细情况。事故原因涉及无数算法和传感器，但关键原因在于麻省理工学院的赛车没能判断出康奈尔大学的赛车是一个正在运动的物体，而且占据了后者的前进路线。令人意想不到的是，麻省理工学院代表队认为详细识别物体（是“车”还是“护栏”）的算法容易导致错误而放弃使用它，并采用了只能将物体区分为运动的物体和静止的物体的算法。但是，在分析汽车传感器探测到的物体时，速度数据中包含随机噪声（所有数据都有这个问题），因此麻省理工学院的自主型系统以每秒3米的速度作为阈值，对数据加以筛选。运动速度快于这个阈值的任何物体都被视为“运动的物体”，反之，则被视为“静止的物体”。

这个阈值是如何设定的呢？它是由一位工程师估算静止与运动物体之间的差值得来的。我问琼恩·豪（该项目的主要参与者之一），在类似系统中，这样的阈值有多少个？他回答说：“有很多。”事实上，麻省理工学院赛车的“配置文件”包含近千行文本，设定了数百个变量，包括传感器的设置和校准，使传感器相互之间密切配合的附加因素，如何处理阳光眩目的问题等。机器学习技术可以减少对这些参数的依赖程度，但仍然需要人类程序员为它们搭建基本结构。豪说，在一般情况下，核心算法对现实世界中不确定因素的准确模型的依赖程度非常大。他认为：“自主技术从本质上看就是不确定世界中的生活起居问题。”

对早期自主型汽车的编码稍加研究，我们不难发现这些“自主型”汽车里富含大量人为的判断，其中有无数微不足道的细节内容（例如，上文讨论的阈值），也有意义深远的深奥内容（例如，不确定因素的模型）。再回想一下，我们最初把自主技术理解成一堆管线，在接收传感器的输入资料之后，将它们转换成目标明确的行为。技术的确非常神奇，但是那些管线和转换过程离不开人的设计。

将这些神奇技术应用到汽车这样的装置上，却有可能给你带来致命危险。

目前，律师和法学学者正在考虑无人驾驶汽车是否涉及法律责任问题。如果你把自主性理解为汽车的自作主张，那么构成责任的意图链就会断裂。如果你的谷歌汽车载着你掉进水沟，谁应当为此负责任呢？仅凭律师起草的合同是解决不了这个问题的，因为它涉及对自主性这个基本概念的理解。如果系统真的是在自主运行，那么出现问题之后，怎么会是制造商的过错呢？（有人认为，传统的产品责任认定方法同样适用于这个情况，即公司必须为它制造的产品负责。）更具有实际意义的问题是，人们如何证明自主型汽车上安装的软件是安全的呢？

在飞机等关乎人的生命安全的计算机系统上验证软件的做法有很强的说服力，但是操作起来有很大的难度，而且成本非常高，因为测试必须缜密精确，每个可能涉及的编码至少测试一次，还需要小心控制各种变化。这些标准同样可以用于验证人为的过程，包括根据严格的要求计划、设计和编写该编码的过程，以及编码发布之后的质量保证与升级管理等过程。但是，这些程序当前的形式并不适用于那些完全自主的系统，因为后者可能采取的行动方案有无数个。而且，与航空上应用的合成视景系统一样，以谷歌汽车为代表的自主型汽车必须依赖于数据高度完整而且频繁升级的数据库。错过一次升级更新，自主驾驶汽车就有可能一头撞到建筑工地或者雪堆之中。

我们如何验证谷歌为不确定因素和危险性建立的模型呢？所有的路径规划算法都会包含这些未知因素。路径规划是通过优化“成本函数”（cost function）来实现的，也就是不断地回答“从这里到那里，怎么走才能把‘成本’（用时间、能源、危险性等变量表示）降至最低？”这个问题。但是，成本函数本身体现的就是人在轻重缓急程度上做出的判断。如果孩子坐在后排座位上，你在驾驶时就有可能趋于保守。此时，成本函数就应该将安全性至于速度之上。如果你是独自一人，又要赶时间，那么你可能会开得更快一点儿，危险性就会增加。如果你觉得汽车最近的油耗比较高，你就会更加关注燃油效率的问题。

我们再做一个思维实验，考虑你的自主型汽车上是否应该配备一个“危险性”手柄。希望早点儿回家？就把危险性手柄向上推一点儿。此时，系统选择的驾车方式就会更冒险，你到家的时间会更早，你的账户也会被自动扣除更多的保险费用。（因为你让其他驾驶员置身危险之中，你对他们有什么补偿呢？你是否应该帮助他们支付部分保险费呢？）孩子坐在汽车后排座位上？那就把危险性手柄向下拉，更严格地遵守交通法规吧。

只要坐到方向盘后面，我们就会有意无意地做出这些决定。而在驾驶谷歌的自主驾驶汽车时，坐在某个小隔间里的工程师会代替我们做出这些决定。如果不希望被软件代劳，我们就需要有一个操作界面。附近区域的地图突出显示危险时，整个地图会变成什么样？那些三维“自主性云团”何时会显示出来呢？

这些思维实验帮助我们找到了谷歌自主驾驶汽车的替代方案：不是剔除驾驶员这个角色，而是重新思考人类的角色定位。激光扫描周围景观形成的图像有一种朦胧感，非常迷人。由于这些图片可以显示自主型汽车的内部模型，从而为一种新的界面、新的驾驶体验奠定了

基础。我的同事比尔·米切尔曾经反复强调：“仪表盘作为一个界面，它所连接的应该是城市，而不是汽车的引擎。”

从此以后，我们再也不用想着要保持在自己的车道里开车、控制车速，以及那些令人身心俱疲的反馈回路了。现在，我们的责任是监督，在较高的层次上指挥和控制汽车的行为，但我们也可以亲自掌控方向盘。我们利用大量通过传感器和算法加强的环境模型，驾着车从一个个“自主性云团”和“危险性云团”中驶进驶出，整个系统的自主程度也在不停地发生变化。

这个目标的现实不能一蹴而就，但是，解决这个问题的可能性远大于将希望寄托于乌托邦式的完全自主型汽车。我们应该有能力帮助那些老年人和残障人士，在驾驶的同时完成其他任务（诸如发短信、阅读等），在继续保持人类临场体验的同时，还可以增强安全性。

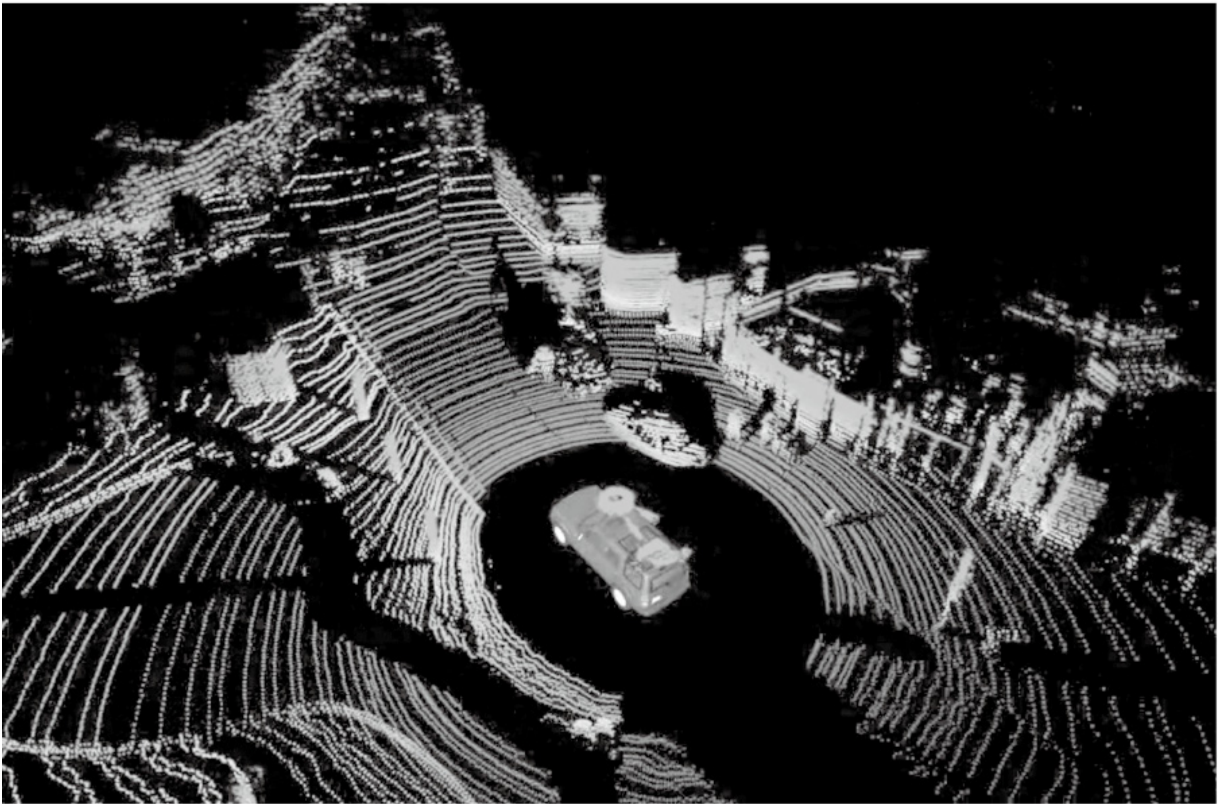


图6–2 早期无人驾驶汽车的监控显示器屏幕截图。围绕汽车的圆圈表示激光雷达正在扫描道路以及路边树木。随后，算法对这些数据进行筛选、分类，为汽车规划行驶路线。这种图形是否有可能作为操作界面，从而催生出一种新的驾驶方式呢

图片来源：麻省理工学院的爱德华·奥尔森。

谷歌在自主型汽车上的研发目标以及宣传辞令经常发生变化，在快节奏的公共传播环境中有可能会再次发生变化。这有可能说明谷歌工程师团队的成员在愿景展望方面产生了分歧。不过，谷歌在文化上对不同意见进行了约束，从美国国家立法机构到汽车经销商都受到了影响。除此以外，美国国家公路交通安全管理局和美国汽车工程师协会对自主程度的界定都被打上了线性发展观的烙印。它们或者直言不讳，或者含糊其辞，但两者都认为通过一系列的进步，最终必然会实现“完全自主”。两个机构制定的标准都没有明确说明可以采用混合模式，比如，规定某些任务可以实现高度自动化，而其他任务则需要慎重考虑；也没有明确说明可以采用信息丰富的自动化模式，让人也能参与驾驶活动。

对于本来可被视为独立发明的谷歌无人驾驶汽车而言，阻碍它顺利发展的责任、认证和风险问题并不是偶然发生的“社会”问题，而是自主问题的重要组成部分，对未来的机器人以及人类的发展前景都有着重要的约束作用。这不是技术性问题，而是事关谁拥有控制权的问题。不过，谷歌汽车的支持者们没有注意到这个问题，科技界的许多人也对其视而不见。

最后，我列举两个仍处于发展初期的项目作为这个替代方案的具体事例。这两个项目都希望加强用户的作用，帮助用户更好地了解自主技术。从一开始，他们就致力于打造一种人–机合作的团队关系，而不是设计一种无须用户参与任务适应的高度自动化的机器。

一架无人驾驶直升机高速接近着陆地点。在用激光扫描仪（与谷歌汽车顶部的激光扫描仪非常相似）扫描周围的地形之后，该直升机将采集到的数千个测量结果输入计算机，为正在实时构建的一个数字三维地形模型提供所需的数据。接着，模拟程序利用复杂的算法处理这些数据，并按照模型给出的航径模拟接下来的飞行。这些程序可以

识别平坦的地形，然后判断空间是否足够大，直升机降落时是否会撞到树木、电线或者其他障碍物。程序还会分析着陆区域是否足够平整，确保直升机在落地时不会翻。

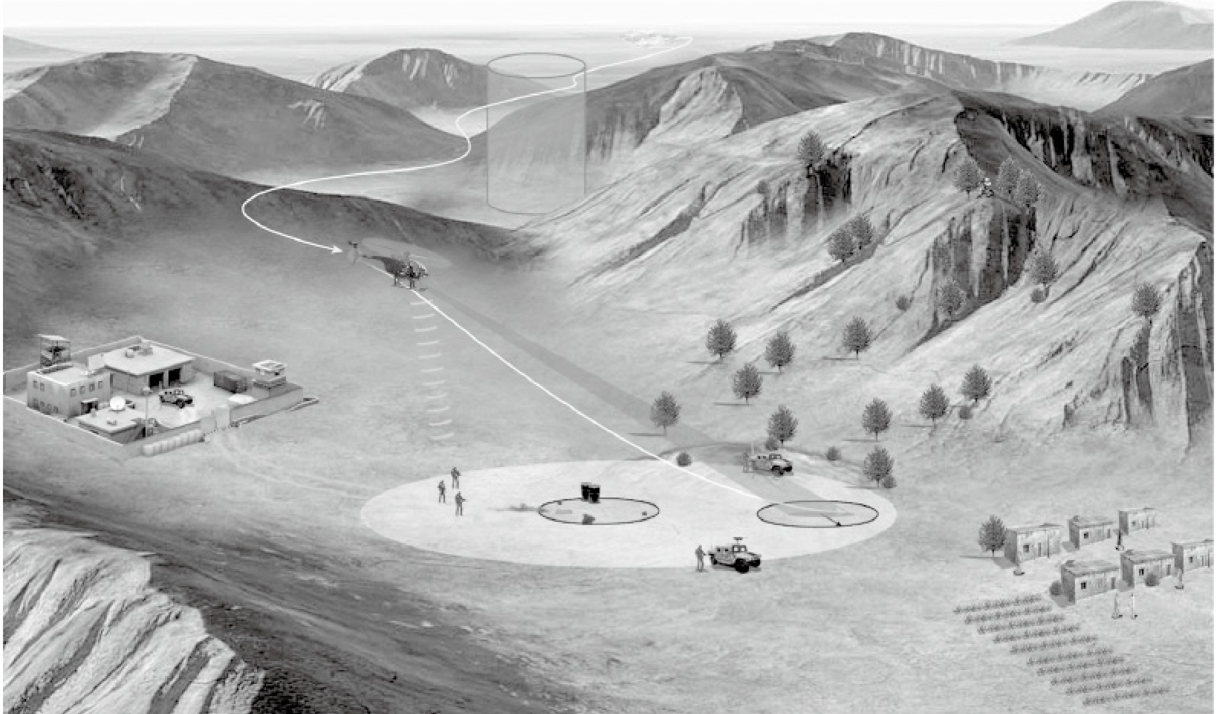


图6–3 自主空中货运通用系统项目（AACUS）中的自主型直升机为投送物资或者执行医疗后送任务，而在山区扫描、选择着陆地点并完成进近的情况。地面上的着陆支持专员通过苹果平板电脑界面和无线电链路同直升机交互并确定着陆地点。
图片来源：极光飞行科学公司。

直升机在接近着陆区域时，树木会阻挡视线。依靠激光扫描仪，计算机发现在稍微偏右的树木之间有一个间隙可以通过，从而在树木中间规划出一条路线并指挥直升机着陆。

以上是某个真实项目的一个演示图例。作为某个政府研究项目的一部分，坐落在美国弗吉尼亚州马纳萨斯的极光飞行科学公司制造了一架全尺寸自主型货运直升机，并于2014年2月完成了一次飞行演示。该政府研究项目的目的是安排无人驾驶直升机前往危险区域完成物资投送以及可能的伤员转移等任务，避免飞行员涉险。我是该项目的成员之一，设计了人与自主程序进行交互的概念结构。我们的理念是把

自治系统视为人–机团队的一部分，不仅在设计操作界面时如此，在设计核心算法程序时也秉持着这个理念。

在这次演示之后，《华尔街杂志》报道了这个项目，标题是："海军给无人机装上了大脑"。似乎在媒体的眼中，完全自主的神话美轮美奂，没有一点儿瑕疵。

那么，人是否参与其中了呢？事实证明，人参与了这次演示的全过程。由于这架直升机是原型机，因此机上还有一位安全飞行员。他双手抱臂坐在那儿，眼睛看着计算机显示屏。不过，他必须随时做好准备，一旦接到通知，就要迅速关闭计算机，接管飞机。等到技术成熟后，就会彻底摒弃安全飞行员这个角色。但是，尽管我们认为安全飞行员是一个多余的角色，实际情况却有可能并非如此，只不过他们需要从事一种全新的工作。

更重要的是，在直升机着陆时，还有人在着陆区等待着直升机的到来。毕竟，如果没有人（甚至是一群人）卸货、打开包装并消耗掉直升机运送来的物资，物资运送又有什么意义呢？站在野地里迎接这架直升机的这些人，必须有极大的勇气，对直升机有充分的信任，因为在一架由软件控制的直升机向你飞来的时候，要保持轻松愉快的心情并不是一件容易的事。我们的团队采访过几十名着陆区引导员，这些为了生计去做有人驾驶直升机降落引导的人大多有在伊拉克和阿富汗工作的经历。其中有几个人回忆说，他们抬头仰望，看见无人驾驶直升机在头顶盘旋时，心里有一种不自在的感觉，因为他们不知道这些飞机归谁所有，也不知道它们在执行什么任务。在战争期间，他们最不希望引导那些"安装有大脑的无人机"着陆，最喜欢的合作对象则是那些老老实实地执行命令的直升机。

也就是说，在着陆区等候的这个人必须有拒绝直升机着陆的权利。因此，我们为他准备了一台苹果平板电脑。经过几分钟的培训，他（她）就可以与直升机进行简短的谈判。这个人会建议一个着陆地

点，如果计算机认为这个着陆地点不能满足安全需要就会拒绝接受这个建议，并给出若干个备选地点。这个人要么接受某个备选的着陆地点，要么要求直升机复飞。

事实证明，设计这个谈判（操作界面和软件系统需要在1分钟之内完成谈判，自主技术必须易于被人理解）是整个项目中最富有挑战性的任务。

不过，直升机的成功演示给人类飞行员提出了一个疑问：如果扫描仪和算法真的可以准确选定着陆地点，人类飞行员是否希望在飞机上加装这套系统？随着这个项目不断取得进展，这些自动化功能不仅会被安装到无人驾驶直升机上，还会被安装到有人驾驶直升机上。举个例子，在我们社区里执行医疗运送任务的直升机往往需要在极端困难的条件下降落到充满不确定因素的环境。我们已经开始研究利用这些新式传感器和算法，帮助人类飞行员提高飞行操作的技术水平和安全性。

这些想法有的已经被应用到一种叫作“非强制性无人驾驶飞机”（OPA）的新式飞机上。《航空航天技术周刊》（*Aviation Week & Space Technology*）是航空航天领域的一家有影响力的杂志。几十年来，该杂志一直在刊登新式飞机的“飞行员报告”。2012年，该杂志刊登的飞行员报告介绍了一架名叫“Centaur”的飞机。在整个试飞过程中，飞行员从头到尾没有触碰过任何控制装置。

在试飞过程中，报告人坐在这架小型双引擎飞机的后排座位上。坐在他前方的安全飞行员心情平静，双手放在大腿上。在他的旁边，也就是通常情况下副飞行员的位置上，是一系列经过精心设计的链路、激励装置和伺服系统。安全飞行员拉动一个控制杆，机械装置就会咬合，并代替飞行员操纵飞机的操纵杆和踏板。如果飞行中出现问题，安全飞行员轻轻拉一下控制杆，就可以松开机械装置。在正常情况下，他不需要触碰任何控制装置。

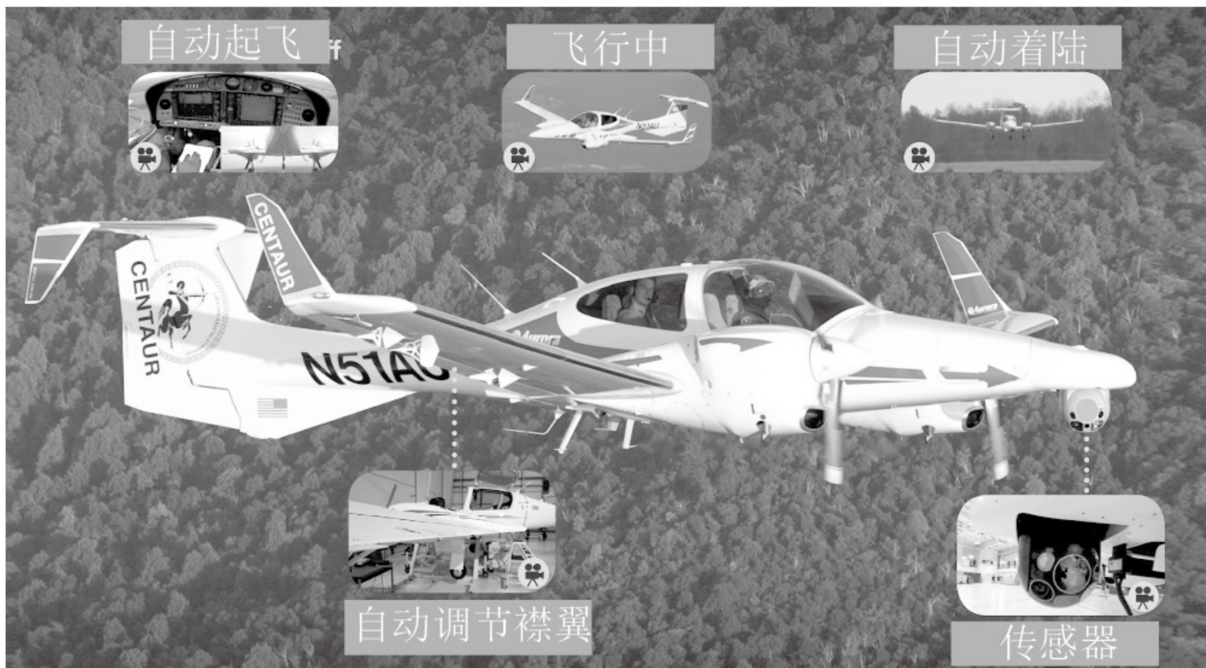


图6–4 极光飞行科学公司制造的高度改良型双引擎通用航空飞机“Centaur”号非强制性无人驾驶飞机。“Centaur”号无人机可以由坐在前排的飞行员驾驶，也可由在地面上或者坐在后排座位上的人通过相同的电脑界面遥控驾驶
图片来源：极光飞行科学公司。

坐在驾驶舱后排座位上的“操作员”通过笔记本电脑操控飞机，他使用的操作界面与无人驾驶飞机地面控制台的界面完全相同。他可以通过电脑显示屏指挥飞机完成改变飞行高度、朝向航点飞行以及起飞、降落等动作。按下“启动”按钮就可以激活自动起飞程序。电脑先保持制动状态，将油门杆向前推，在检查引擎和仪表之后，松开制动，飞机开始滑行。随着飞机加速、升空、爬高，半自主型飞行就这样开始了。

作为非强制性无人驾驶飞机，“Centaur”号（得名于神话中的人首马身的怪物）可以像刚出厂的新飞机一样通过注册认证，以有人驾驶的方式完成正常的飞行；也可以采用半自动飞行模式，由坐在后排的报告人通过笔记本电脑指挥飞行；还可以采用无人驾驶模式，由地面人员通过无线链路操纵相同的电脑界面指挥飞行。

这架非强制性无人驾驶飞机是极光公司工程师利用市面上商业销售的钻石DA–42飞机改装而成的。工程师们在前座上加装了机械装置和一堆独立的电子元器件，并将飞行手册和应急程序进行了数字化，编入计算机算法。

在美国领空，无人驾驶飞机大多是不合法的，但是“Centaur”号无人机得到了美国联邦航空管理局的许可，在飞机上有安全飞行员的前提下可以采用无人驾驶模式。因此，这架飞机有助于无人驾驶系统所需传感器、算法和程序的研发工作。在有飞行员登机的情况下，该飞机已经获准前往阿拉斯加州，通过无人驾驶操作采集气象研究所需数据。

“Cenaur”号无人机采用的是适合飞行测试和工程研制的过渡技术，相关规章制度和具体技术还在制定当中。不过，这套技术却为新的飞行方式播下了种子，因为即使是在美国的领空，安全飞行员的职责最终也可能变成通过笔记本界面操控无人机飞行。

我们是不是很快就可以看到没有飞行员的客机呢？在可以预见的将来，这个目标可能还无法实现，但是通过“Centaur”号无人机，我们可以了解人类现在已经掌握了哪些相关技术。从技术上看，控制飞机滑行、指挥飞机起飞、按航线飞行和自动着陆的自动化技术都已经得到了验证。无人驾驶飞机的问题似乎已经解决，只不过都是在无人环境下解决的。我们再一次发现，全自主型操作不是大问题。我们可以认为人类现在已经掌握了这方面的技术，但是如何让这个创新发挥社会意义，如何让它为人类福利做出贡献，则是一个尚未解决的问题。要解决这个问题，不仅需要制造出这些机器，还需要社会、政治和经济体系允许这些机器融入人类的生活。

客机必须经过安全认证，以确保它不会从空中坠落。它们不仅需要向乘客提供安全性统计数据，还要提供安全体验；不仅需要应对我们可以想见的所有紧急情况，还需要确保在发生无法预见的紧急情况

时不出问题。在涉及责任、危险、可靠性和信任等因素的有人环境下，同无人驾驶汽车一样，无人驾驶飞机所面临的问题同样没有得到解决。只有通过演示、操作和智能工程反复验证这些系统的可靠性，多年之后，人们才会慢慢地信任和接受它们。

我们更有可能看到的变化是机组人员的数量将会减少，而且这个变化肯定为期不远。在长途飞行中，即使在枯燥乏味的途中飞行时，飞行员也需要换班。因此在正常情况下，长途客机需要安排三名以上的飞行员。如果在保证安全性不受影响的前提下，可以减少机组人员的数量，将对航空公司的运营成本产生直接影响。

问题是大型客机不允许单飞行员操作。作为昂贵的资本设备，大型客机仍将以现有的操作形式陪伴我们度过未来几十年的时光。因此，要减少机组人员的数量，我们必须安装一些内设装置。这些装置不仅需要像人一样能与飞机进行交流，还要与飞行员进行有效的沟通。如果用机器取代长途飞行中的副飞行员，这台机器可能只需要监控和防范紧急情况的发生，在出现问题时要临时应对一段时间，以便唤醒正在打盹儿的飞行员，并让他（她）了解飞机当前的状况。当然，这样的机器应该通过“法航447号航班”突发性预警的检验。可是，有时候人类也无法通过类似检验。（最近发生的3·24德国之翼航空公司坠机事件表明，如何防范飞行员自杀毁机的行为是一个极具挑战性的社会问题。）

如何以较低成本在任意飞机上快速添加自动化功能，这是一个比较难的挑战，美国国防部高级研究计划局（也是上文中提到的早期无人驾驶汽车大奖赛的资助机构）已经放弃了这方面的努力。如果有人希望安装这项技术，可能还需要在多个方面对飞行员提供支持，包括执行常规任务、查看程序、访问过往事件数据库、针对飞行操作给出有用的建议等。为了不重蹈覆辙，这项技术不是用来完成副飞行员的工作，而是通过飞行员与助手之间的新式劳动分工，让人与机器充分

发挥各自的作用。美国国防部高级研究计划局正在资助一个名叫“机组人员驾驶舱工作自动化系统”（ALIAS）的项目，希望通过该项目认真考虑这个问题并完成样机的制作。如果成功，这个项目不仅有可能以上述方式扮演副飞行员的角色，还有可能将任意一种飞机变成无人驾驶或者遥控驾驶飞机。

ALIAS项目希望在副飞行员的座位上安放某种装置，让它像人一样与驾驶舱进行交互——通过机器视觉阅读仪表盘上的数字，并通过飞行控制装置操控飞机，甚至扳动、掌握整个驾驶舱里的所有开关和操纵杆。

ALIAS项目设立了多个彼此之间有重叠的目标，其中最远大的一个目标可能是通过“微创手术”将任意飞机（包括大型运输机和直升机）变成自主机器人。通过合适的数据链路，安装有ALIAS系统的飞机可以实现远程操控。该项目的一个短期目标是将ALIAS系统用作“飞行员助手”，在工作负荷较高的时段帮助处理常规任务（就像《星球大战》中辅助卢克的小型机器人R2–D2）。这样，人类飞行员就可以坐在前排座位上，通过类似于苹果平板电脑的界面，操控飞机完成整个飞行任务。

“飞行员助手”有助于减少长途飞行中机组人员的数量。ALIAS项目的作用不是取代副飞行员，而是重新思考飞行员与副飞行员之间的关系，也就是重新思考驾驶飞机这个基本任务。在看到完全自动化的客机之前，我们将在很长一段时间里看到依赖于ALIAS项目及类似技术的飞行方式，而且这些飞行方式可能最先应用于货机的长时间水上飞行。

极光飞行科学公司的团队拿下了设计、建造ALIAS项目的合同（我是该团队的一名成员）。ALIAS项目将利用机器学习技术适应新飞机，利用机器视觉读取、理解驾驶舱显示屏的读数，还会利用某些机器人激励装置操控各种控制装置和开关。在适应新飞机时，需要对

ALIAS项目进行培训，包括基本飞行操作与程序，“观看”人类飞行员的操作，收集人类飞行员驾驶飞机的相关数据。团队还希望将最优秀飞行员的飞行技术编成计算机编码。

不过，ALIAS项目面临的主要难题并不是算法，而是如何与人类伙伴合作的问题。民用航班的经验告诉我们，所有驾驶舱根本不需要再增加一个界面复杂、内部状态无从了解而且令飞行员迷惑不解的“黑盒子”。因此，这个难题就变成了如何重新思考飞行员的任务，并在不过分增加复杂性的前提下提升他们工作的抽象程度，也就是说，我们需要重新思考飞行员的角色。

飞行员在飞行时，可以今天采用有人驾驶模式，明天采用遥控模式，后天采用自主飞行模式。而且，人类飞行员可以选择让ALIAS操控飞机一个小时，随后以手动方式驾驶飞机。采用ALIAS以及类似系统之后，飞行员甚至可以在长途飞行中睡觉，前提条件是他（她）可以证明系统在发生紧急情况时能应付足够长的时间，使他（她）有时间清醒过来、了解情况并在必要时介入飞行。事实证明，允许飞行员打盹儿可以缓解疲劳，使他在驾驶飞机时有更好的表现，但这要求我们修正对飞行员的认识，不再把飞行员视为在整个飞行过程中一直全神贯注地操控飞机的英雄，而是把他们看作极其能干但是在认知与心理方面存在局限性的人。

同美国国防部高级研究计划局的其他项目一样，ALIAS项目也是一个充满不确定因素的高风险项目，人们并不清楚它最终能否（以及如何）付诸应用。但是，作为一个研究项目和一个高级的思维实验，它为我们指出了几十年以来我们一直在努力学习的一个道理：展现在我们眼前的根本不是由载人飞机演变为遥控飞机，进而演变为自主型飞机的线性发展过程，而是一种趋同现象。载人、遥控和自主技术共同演化，彼此之间的界限逐渐模糊。

第7章
人机协作：一个美丽的科技新世界

机器人和自动化技术正在走出实验室并应用于现实的人类世界之中，与人类合作完成深海、太空等极端环境的探索任务。

未来，我们所在的将是一个人机紧密协作的美丽新世界。

2013年夏天，机器人载具行业的主要组织——国际无人系统协会（AUVSI）在华盛顿特区举办年会和展览会。这是一场机器人的盛会，有的像驮骡一样步履轻快，有的像蜻蜓一样在空中飞舞，有的可以发射导弹，有的可以监控作物的生长情况。但令人奇怪的是，尽管这场盛会展示了大量新型传感器、机器人或者民事应用，但最吸引眼球的新闻却出自别处——协会主席让媒体和公众改变措辞的要求成为一条轰动性新闻。

国际无人系统协会主席迈克尔·托斯卡诺说："我从来不用'drone'（无人机）这个词，因为它会导致一种好莱坞式预期。在大多数情况下，这种预期跟军事有关，非常可怕，带有敌意。"他的这番话，是对一个迫在眉睫的政治威胁做出的回应——有一群人聚集在展会大厅的外面，对美国正在用无人机打击敌人的行为，以及将来在美国国内用无人机窥探个人私生活的做法表示抗议。

托斯卡诺说："我希望公众理解，这次活动的关键词是'系统'。系统里包含了人，而且人是系统的制造者。如果使用'无人机'这个词，你就不会想把控制权掌握在手中。"

公众害怕受到监视的心理已经引起了业界的注意，他们担心机器人技术在美国领空的应用将因此受到影响。托斯卡诺显然希望改变他所在行业在公众心目中的形象。但是，一个行业竟然要求人们在称呼其产品时停止使用某个表达而改用另外一个表达，这的确是一个异乎寻常的现象。于是，人们开始关注这些词语在移动机器人技术领域中的重要意义（以及它们带来的问题）。

“无人机”及其完成的工作都是人的劳动成果，而不是不食人间烟火的冷冰冰的技术。虽然无人驾驶飞机上没有载人，但它们依然是人类努力的成果。自主机器人通常与人类世界紧密相连，并且最终会回到人类世界。人类操作员与由数据、同事和图像构成的庞大网络之间有着千丝万缕的联系，尽管他们密切关注的人类活动距离他们非常遥远，甚至发生在地球的另一端。

一个常见的错误主张是，人类只有亲临现场才可以得到真实的、内行人才能获得的体验，而不载人的机器人可以独立工作。到目前为止，人工智能领域关于机器是否可以独立思考的争论还在继续。的确，自治系统使用的软件可能具有不确定性（即不可预测性），也有可能在周围环境的作用下表现出应变特性，或者完成某些学习行为。但是，所谓的智能系统全部是人类编写的程序，其中还嵌有人类的世界观。

也就是说，对于21世纪而言，自主就是发生了时间迁移的人类行为。从某种意义上看，这也是“编程”的精髓所在，即通过运行程序命令计算机在未来某个时刻完成某个任务。当然，机器将对环境做出某种响应，在遭遇新情况时甚至有可能做出人们意想不到的某些行为。但是，这些行为都会受到严格的限制，而且很多限制条件是设计者和程序员预先设置好的。探索火星的漫游车也许可以通过“学习”了解周围环境。如果车轮在某一个位置陷入泥土，下一次它就会躲开这个位

置。但是，如果碰到一个珠宝盒，它就没有办法（因为机械装置和软件的原因）通过“学习”打开这个珠宝盒。

不过，对于工程师而言，在计算机系统的控制下可以在某种地形地貌中穿行的全自主机器人仍然是一个非常有吸引力的创意。感知周围环境、分类、将环境与模型或先前体验匹配起来、制订前进的计划，这个过程与我们的日常行为非常相似。世界上的不确定性（以及机器所具有的不确定性）和总是导致事前假设落空的意料之外的情况，不仅让这个问题变得更难，也让它变得更加有意义。我们在这个世界上是如何观察、决策和行动的？我们是如何应对不确定因素的？在技术这个媒介的辅助下厘清这些问题，是一项崇高的工作，是工程技术最超然的一个方面。

但是，我们不要把技术上的思维实验与对有人环境有益的技术混为一谈。几十年来，我们的生命和资源在包括深海、太空在内的环境中不时遭遇危险，在这种情况下，我们加强了对自主技术的控制。这不是一个不断进步（乃至有一天得偿所愿）的过程，而是由实验室向野外迁移的过程。在这个转变过程中，无论其完成的任务是响应人类的指令并发回有价值的数据，还是保护人类的生命安全，自主技术都会不停地得到锤炼。

回顾过去，尼尔·阿姆斯特朗在登月舱着陆前的最后一分钟进行的手动干预（关闭登月舱的自动化系统），标志着在20世纪全自主技术的构想受到了限制，也预示着人机强有力的合作方式从此拉开了序幕。就像没有联网的孤零零的电脑一样，孤零零的自主型无人机也已经落后于时代的发展。在21世纪，机器人技术需要面对的挑战是，如何将机器人融入人类系统和社会系统，以及如何处理好人机之间的关系。

作家马修·克劳福德放弃了在某个智囊团的工作，开了一家修理古董摩托车的店铺。他认为，智囊团的工作不过是摆弄一些抽象概念，

与物质世界严重脱节，就像无根的浮萍，而修理铺的工作才是一种“讲求技术、积极投入”的工作。工匠的生活深深地吸引了他，因为这种生活不仅要对机器构成的冷冰冰的物理世界负责任，还要对顾客、修车师傅以及摩托车骑手之间形成的社会关系负责任。在他看来，由于集体中的每个人都在想方设法地提升自己的手艺，因此形成了很强的凝聚力。克劳福德说：“我关注的是机械方面的有限内容，但这些内容却被传递到了一个更广泛、更有意义的人际圈里，它所服务的人类活动被我们视为有意义人生的一个组成部分。”

克劳福德的职业选择似乎是在为反对远程临场的海洋学家、认为人类亲临现场才是探索活动的真谛的天文学家，以及把“捕食者”无人机飞行员贬低为“任天堂游戏玩家”的战斗机飞行员摇旗呐喊。的确，在工作场所应用各种技术的常见目的是促使劳动“效率大幅度提升，自动化，对远离工作现场的各种力量做出回应”。克劳福德认为，手艺与技术的特点形成了鲜明对比，因为手艺“天生就要应用于特定环境之中，所以会对远程控制加以抵制”。

具有讽刺意味的是，克劳福德的这个结论与我们正在讨论的自主性高度吻合。他反对个人脱离社会的生活方式，认为这是一种“不受他人羁绊拖累、高度自由的极端自我”。因为从事的是摩托车修理的工作，所以他需要接触不同的人。虽然他评论的是人的自主，但与我们对机器人领域乌托邦式自主的批评却有着异曲同工之处：

> 自主这个概念否定了世界先于我们存在这个事实。它假定人从本质上看是孤独的，而自主者享受的自由其实就是与世隔绝、孑然一身的生活所赋予他的自由。这样的人生态度背叛了我们对这个世界应尽的义务，在道德上讲是一种忘恩负义的行为。因为从本质上看，我们不仅需要相互扶持，还需要依赖于这个并非由我们创造的世界。

与之相似，对极端环境的研究表明，完全自主并不是一个非常有价值的远大志向，挑战程度更高、价值也更大的应该是在有人环境中使用的自主技术。我们如何才能设计出可以辅助操作人员并支持他们发挥技能、确立身份地位的自动化系统呢？机器人如何在完成自主行为的同时，还具备易于被人类合作者了解、预测、掌握其内部运行机制等特点呢？在生命安全受到威胁时，人类会信任无人驾驶系统吗？在权力、语言和身份等方面，机器人如何处理与人的关系呢？即使在极端环境中，我们也可以看出这些机器并不是孤立的。

但是，这并不意味着自主技术将会裹足不前，也不是说改进后的传感器、计算机、算法和机械装置在帮助我们探索世界或者帮助机器增强可靠性等方面没有用武之地。恰恰相反，机器人仍有可能是人类拓展自己体验的希望所在。但是，我们不能把所有希望都寄托在这些机器上，而要透过漫游车看得更远，探索数据里蕴含的秘密，体验远程临场感。借助手中的机器，新一代的海洋学家、新一代的火星地质勘查者，乃至新一代的空军飞行员，都可以在这个世界获得全新的体验。

在整个研究领域，我们都能发现这些观点的蛛丝马迹。我在前面的章节里提过，美国国防部高级研究计划局实施了一些雄心勃勃的项目，充分发挥现有计算机和机器人技术的潜力，组建人–机合作团队。美国海军研究中心（美国联邦政府资格最老、最受尊敬的研究资助机构之一）也有一个类似的“自主学”项目，不仅包括优化理论博弈论、控制理论和图论等严格的数学建模训练，还包括人机闭环控制、经济学、认知心理学和人因工程学等内容。在不久的将来，人们有可能利用这些传感器，从社会维度对人类行为、文化关系和知识创造进行更深入的研究。

到现在为止，我们已经讨论了三种机器：一是有人操控的机器，例如我们乘坐的飞机；二是遥控机器，如探索“泰坦尼克”号残骸、测

绘古代船只失事地点的无人遥控水下机器人；以及自主机器人，如ABE和火星漫游车，它们与人类的联系没有前两种那么直接，但可以自行做出某些决定。我们对大型系统和网络中的人与机器进行过跟踪研究。在所有案例中，我们都能发现人类的决策、临场感和专业知识在其中发挥作用的现象（尽管出现的方式有时会不同于我们的预期），不过它们都会随着新技术的出现而发生某些变化。引起工作性质与完成工作的人发生某些变化的并不是机器本身，而是人与自动化机器构成的各种新颖组合。

有人仍然认为这是一种线性发展，并把最“先进”的技术看作只需少量人类投入的完全自动化或自主的技术。其实不然，人类的探索活动已经证明这三种模式通过反馈机制和相互补充正在共同演化。新“阿尔文”号加装了为自主机器人设计的软件；我们乘坐的客机与遥控机器人非常相似；控制阿波罗号登月的不仅仅是那些英勇的飞行员，还有地面控制台与软件算法，他们通过链路对任务的重要环节实施了严密的监控。国际空间站亦如此，尽管有宇航员住在空间站里，但现在的空间站在大多数时间里都是由地球上的工程师通过远程方式操控的。

“捕食者”和“死神”无人机的飞行员可以在千里之外指挥它们发射导弹，消灭敌人；而坐在现代战斗机高度计算机化驾驶舱里的飞行员，除了通过雷达显示器，几乎看不到敌人的身影。他们的工作难道有多大的不同吗？严格区分有人还是无人、手动还是自动的做法，是20世纪落后观点的残存。

新观点正在模糊化它们之间的界线。平视显示器、合成视景等技术正在提升飞机驾驶的计算机化程度，同时降低完全自动化的程度。飞行员通过不同方式与机器耦合，目的是增强飞行安全性。当然，他们能否实现这个目的，取决于机器（以及为这些机器编写程序的程序员）对人类角色的理解是否有效，以及飞行员和自动化系统的合作方

式。与通过自动化将人摒除在外的做法相比，让人类加入人机闭合环路的做法需要更复杂的技术。

极端环境只不过是地球环境发展前景的预兆。随着汽车自动化程度不断提高，普通人执行的最常见的技术任务将随之发生变化，从而要求我们对驾驶员这个概念进行重新定义。在医药领域，机器人辅助完成的手术已经改变了外科医生（甚至病人）的概念。工厂工人、建筑师、作家甚至赛车手也会逐步发现，在他们所从事的领域中，某些由人的大脑和身体完成的任务正在逐渐改由机器完成，并最终演变为机器制造者和编程人员的工作范畴。就像失业与社会位移真实存在一样，这种担心也不是杞人忧天。我本人所在的大学已经推出了一项重大举措，通过网络课程推动教学改革。学校的所有教师都在思考一个问题：课堂教学到底应该在整个教学活动中占据多大的比重？所有这些领域在引进机器人和实现自动化的同时，也必将发生社会变化，甚至会引发一些严重的问题。

对极端环境的探索可以帮助我们弱化寄托在自主机器人身上的近乎幼稚的希望和担忧，把注意力（以及创造力）转移到人类角色与社会互动问题上，并应对可靠性与信任等方面的挑战。应用于具体环境的自主技术需要关注的核心问题是：人处于什么位置？他们是谁？他们在做什么？何时做？他们做的事有什么重要意义？

在一个寒气逼人的冬季夜晚，我结束了前往美国南方的长途旅行，正驾驶着我的1993年款比奇富豪（1947年第一次设计成型的单引擎飞机）返航回家。新英格兰地区刚下过一场雪，机场上方仍然乌云密布，洁白的云层与地面上的积雪交相辉映。

难道我是学习昔日的“孤鹰”林德伯格，凭感觉完成了这次飞行吗？并不是这样的。我可以使用的工具非常多。连接电脑的GPS单元可以精确地给出我的位置，数码引擎监视器可以记录几十个参数，卫星链路可以显示详细具体的气象图。所有这些数据都显示在5块电脑显

示屏上（包括一台苹果平板电脑）。此外，合成视景系统还通过数据库为我的飞行建立实时模型。所有系统都有一些独特要求和薄弱环节，软件需要更新，软件本身可能会有某些缺陷。因此，我必须充分了解它们的缺点，熟悉各种故障。



图7–1 利用计算机系统和合成视景完成着陆
图片来源：约翰·塔尔科。

老一辈飞行员可能会感到失望，认为我过于依赖数字设备，背离了飞行的真谛。但是，这些设备让我看得更远，让我的操作融入了一个对于完成任务和保障安全来说有重要意义的网络，并为我提供了一种全新的飞行体验。

空中交通管制台通过语音向我发出指令，为我导航的是专业人员经常维护、反复测试的全球卫星网络，我驾机着陆的地点是政府拨款

修建和维护的机场。我的飞机在飞行时，就置身于这些由多路通信渠道连接而成的网络。

这次飞行开始后不久，飞机引擎的一个汽缸就发出了异常低温警报。之后，显示引擎马力的电脑读数下降了10%。这是一个需要认真对待的现象，不过，引擎的声音比较正常，飞机的速度也没有异常变化。在担心之后，我认真地思考了这个问题，最后断定是引擎温度传感器出了故障，而引擎本身并没有问题，因此我可以继续正常飞行。这是一个十分寻常甚至常会发生的故障。

也许几年之后，我驾机飞行的时候，身边就会坐着一台机器人。再过几年，这台机器人或许会被内置到飞机里。在遇到上述情况时，自主型算法会不会断定引擎即将发生故障，然后多此一举地实施紧急降落呢？果真如此的话，我肯定不介意与在远端控制室中同我一起操控飞机的那个人一起商讨、分析和处理这些自相矛盾的数据。

通常，我会利用自动着陆系统完成进近，锁定无线电波束，监控飞机降低高度，然后在离地面几十米的时候接管飞机，以手动方式完成着陆。

在这次进近时，我在机场上方约32千米的时候就关闭了自动着陆系统，改用手动飞行。自动着陆系统可能会在某个时候发生故障，因此我需要熟练掌握着陆技术（如果有一个星期的时间没有驾机飞行，我就会觉得飞行技术明显生疏了）。此外，我还喜欢直接操控飞机、通过流畅而精准的动作完成着陆给我带来的那种感觉。

无线电里传来空中交通管制员的空洞的声音，指示我对准无线电波束。在我快要完成时，他批准了我的进近请求，也就是说我可以自行操控飞机了。在我的电脑显示屏上，显示无线电波束接收状况的图形“指针”变得非常清晰。我按照指针的指示，进入了最后的进场路线。等到与进场路线垂直的无线电下滑台变清晰时，我就会放下起落

架，飞机开始下降。我看了一眼程序清单，这是几个月之前的一个傍晚，我坐在舒适温馨的家中拟订的。

我通过手动方式对飞机的俯仰角略微做了调整，让飞机保持在下滑台上。虽然我无法透过窗户看到任何物体，但电脑显示屏上却有下方地形的合成视景。一个绿色的航径矢量叠加在地形图上，显示出飞机的前进方向。如果我把航径矢量放到虚拟跑道的末端，只要稍微操纵飞机，它就会直接飞向着陆地点。

我的飞机穿过云层，降到距离地面几十米的高度时，跑道突然出现在我眼前。我轻轻地松开油门，然后松开操纵杆。飞机发出刺耳的声音，试图触碰跑道。我通过制动系统让飞机放慢速度，最后停在跑道上，我终于成功地回到了地面。这种体验给了我巨大的满足感，虽然着陆时的全神贯注使我感到疲惫不堪，但我的心情却非常轻松、愉快。

致谢

作为一个研究项目，我花了7年时间才写完这本书，但是作为一个学术经历，它占据了我超过25年的时光。其间，无数朋友和同事给予了我帮助。

蒂姆·卡伦的论文研究工作为第4章的内容提供了重要的论据与资料。罗伊·奥玛拉作为一名战斗机飞行员出身的学者，以怀疑的眼光阅读了本书。博士后扎拉·默马雷克和扬尼·卢基萨斯帮助我整理了大量谈话记录。此外，扎拉还参与了第3章的资料收集工作。

为了完成部分研究，我利用公休假，在极光飞行科学公司位于美国马萨诸塞州剑桥市的工程技术研究中心做了一年的访问科学家。极光飞行科学公司的同人们不仅允许我了解他们的研究项目，而且在验证新方法对人与机器人自主性问题的效果时，还邀请我参与到项目中。他们是约翰·兰福德、吉姆·帕度阿诺、约翰·威斯勒和哈维尔·路易斯。极光飞行科技公司的约翰·塔尔科和麻省理工学院为我了解机器人自主技术提供了大力支持。

在向加利福尼亚大学圣迭戈分校介绍本书创意的早期报告会上，艾德·哈钦斯盛情出任报告会的主持人。奈特·希姆斯和我进行了无数次商讨，尤其是深入研究了航空与医药领域中人与机器之间相互合作的关系。感谢汤姆·依姆里奇在客机驾驶方面给我的建议。在本书即将成形之际，我在麻省理工学院举办的“载人、遥控和自主型系统”研究生研讨会在连续两年时间里帮助我整理了大量材料。在此，我要特别感谢马克·博耶、玛德琳·埃利什、史蒂夫·费诺、谢莉·豪尔、马克·哈里

斯、凯尔·克托维克、斯科特·尼尔、迈特·拉贝、杰森·赖安、萨西亚·席尔瓦、亚历山德拉·斯坦科维奇和埃里克·斯泰顿。

一些热心的朋友拨冗通读了我的书稿，并提出了尖锐的批评意见。他们是凯西·阿博特、罗伯特·巴拉德、比尔·克兰西、弗兰克·列维、约翰·马考夫、维克·迈克尔赫尼、鲍勃·莫罗、唐·诺尔曼、查克·奥曼、韦德·劳什、罗莎琳德·威廉姆斯和戴纳·约杰。他们的阅读都会引发长时间的讨论，为我的学术生涯增添了无穷的乐趣。

麻省理工学院科学、技术与社会计划的杰·拉斯特基金为我几个暑期的研究与写作提供了重要的资金支持。在丹尼斯·夏皮罗基金会的支持下，自动化、机器人技术和社会实验室完成了本书所需的几个研究项目。丹尼斯·夏皮罗本人不仅提供了经济支持，还作为飞行员和良师益友为我提供了其他帮助。在写作的最后几个阶段，科学技术普及计划（负责人多伦·韦伯）下的斯隆基金会为本书提供了支持。麻省理工学院的莎莉·查普曼为本书插图做出了重要贡献。

在本书中化名为“欧航”与“平视公司”的两个机构，以及伍兹霍尔海洋研究所的众多员工接受了我的采访，在此向他们一并表示感谢。

在本书远未成形时，我的出版代理人凯瑟琳·弗林就独具慧眼，不仅看好它的前景，还提出了宝贵的修改意见。她为我引荐的维京–企鹅图书公司编辑梅兰妮·托特罗里接受了我对本书的构思，并为最后成书做出了大量贡献。

在我完成本书的过程中，我的两个女儿露西娅和克莱拉呱呱坠地，开始了她们的健康人生之旅。我希望有朝一日，她们也会阅读这本书。写作这本书与我妻子帕梅拉在唱诗班担任指挥的工作，是我们家同时进行的两个项目。我衷心希望我在这里发出的声音不是那么难听，哪怕其悦耳程度只能及上唱诗班的万分之一，我就心满意足了。

注释

第1章 机器人时代，人应该扮演什么角色?

1 **a team of twelve engineers:** This account is based on the author's interviews with Mike Purcell, Woods Hole Oceanographic Institution, August 2011.

2 **"only one software upgrade away":** "Terminate the Terminators," *Scientific American* 303, no. 1 (July 2010): 30.

3 **In the domain of work:** Frank Levy, *The New Division of Labor: How Computers Are Creating the Next Job Market* (New York: Russell Sage Foundation; Princeton, NJ: Princeton University Press, 2004). Erik Brynjolfsson and Andrew McAfee, *Race Against the Machine: How the Digital Revolution Is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and the Economy* (Lexington, MA: Digital Frontier Press, 2012). Illah Reza Nourbakhsh, *Robot Futures* (Cambridge, MA: MIT Press, 2013).

4 **"this concept of keeping the human in the loop":** Peter W. Singer, *Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the Twenty-First Century* (New York: Penguin, 2009).

5 **"there are no fully autonomous systems":** Defense Science Board, "Task Force Report: The Role of Autonomy in DoD Systems," Washington, DC: Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology, and Logistics, July 2012: 33.

6 **One recent report introduces the term "increasing autonomy":** *Autonomy Research for Civil Aviation: Toward a New Era of Flight* (National Research Council, 2014).

第2章 深海探险：载人潜水器与水下机器人的博弈

7 **The Skerki D survey:** Robert D. Ballard et al., "The Discovery of Ancient History in the Deep Sea Using Deep Submergence Technology," *Deep-Sea Research* I 47 (2000): 1591–1620.

8 ***Alvin* was part of a broad landscape:** Frank Busby, *Undersea Vehicles Directory 1987* (Arlington, VA: *Busby Associates Inc.*, 1987). Richard Geyer, ed., *Submersibles and Their Use in Oceanography and Ocean Engineering,* Elsevier Oceanography Series 17 (Amsterdam; New York : Elsevier Scientific Publications Co., 1977).

9 **"scientific research salesman":** Robert D. Ballard and Will Hively, *The Eternal Darkness: A Personal History of Deep-Sea Exploration* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2000), 63.

10 **"It was fortunate that Alvin was there":** Frank Taylor interview with Robert Ballard, April 27, 2000, Woods Hole, MA, Woods Hole Oceanographic Institution Archives.

11 **much of the scientific community:** Ballard and Hively, *The Eternal Darkness,* 158

12 **Ballard developed methods:** Frank Taylor interview with ANGUS group, February 27, 2002, Woods Hole, MA, Woods Hole Oceanographic Institution Archives.

13 **"And the nimble little white submarine":** Ballard and Hively, *The Eternal Darkness,* 49.

14 **"We asked Holger and Fred how to proceed":** Ibid., 186.

15 **a computer connection to the ship's control system as well:** Frank Taylor interview with ANGUS group, February 27, 2002. Woods Hole Oceanographic Institution Archives, 13.

16 **"We found running the sled":** Ibid., 14.

17 **In team member Steve Gegg's words:** Ibid., 21.

18 **Ballard split away from the *Alvin* group:** Ballard and Hively, *The Eternal Darkness,* 233.

19 **"He was very much interested in social issues":** Author interview with Dana Yoerger, Woods Hole, MA, August 2011.

20 **"an improbable kite of white steel":** Ballard and Hively, *The Eternal Darkness,* 8.

21 **"Our scanning human eyes":** Ibid., 9, 240–41.

22 **"the *Alvin* group lost some of its popular glamour":** Ibid., 295

23 **"*Alvin* became a different machine":** Author interview with Will Sellars, Woods Hole, MA, August 2011.

24 **"We went from [testing in] ten feet of water":** Frank Taylor interview with Martin Bowen, October 2001, Woods Hole, MA, Woods Hole Oceanographic Institution Archives, 35.

25 **the cook on *Atlantis II* made a special cake for Ballard:** Ballard and Hively, *The Eternal Darkness,* 297.

26 **"bureaucratic inflexibility":** Ibid., 301, 312.

27 **"When the *Alvin* pilot turned on":** Frank Taylor interview with Martin Bowen, October 2001, Woods Hole, MA, Woods Hole Oceanographic Institution Archives, 35.

28 **"in the portholes you'd see an eight-story building":** Ibid., 40.

29 **"all I could see was that big gaping hole":** Author interview with Dudley Foster, Woods Hole, MA, August 2011.

30 **"I was in that vehicle's eye":** Frank Taylor interview with Martin Bowen, October 2001, Woods Hole, MA, Woods Hole Oceanographic Institution Archives, 38–39.

31 **"I was just flying this thing":** Ibid., 40–42.

32 **"As we sat inside *Alvin*":** Ibid., 43.

33 **Will Sellars was amazed:** Author interview with Will Sellars, Woods Hole, MA, August 2011.

34 **The *Alvin/Jason Jr.* combination was the feature of a new *National Geographic*:** *National Geographic* cover, December 1986.

35 **after *Titanic*, it was never used again:** Martin Bowen and I rebuilt *Jason Jr.* and redid its internal electronics in 1991, in preparation for an expedition to the Galapagos. Unfortunately, the barge carrying *JJ*, and all of our equipment, sank while being towed to the islands. *JJ* sits today in a crate, inside a shipping container, three miles down in the South Pacific. Ironically, the only piece of equipment likely to be undamaged is *JJ* and its titanium pressure housing.

36 **"It's a ballet":** Frank Taylor interview with Martin Bowen, October 2001, Woods Hole, MA, Woods Hole Oceanographic Institution Archives, 45.

37 **"You become overwhelmed with input":** Author interview with Will Sellars, Woods Hole, MA, August 2011.

38 **"With robots you could have a whole gallery of experts":** Frank Taylor interview with Martin Bowen, October 2001, Woods Hole, MA, Woods Hole Oceanographic Institution Archives, 44.

39 **"I just starting mapping things in my own head":** Ibid., 67.

40 **"People would say, ROVs?":** Ibid.

41 **Another member of the team recalled:** Interviewee unattributed by request.

42 **“And you find people that go”:** Author interview with Will Sellars, Woods Hole, MA, August 2011.

第3章 飞行安全：人类飞行员与自动化飞行系统的完美合作

1 **"total loss of cognitive control of the situation":** *Final Report on the Accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 Registered F-GZCP Operated by Air France Flight AF 447 Rio de Janeiro–Paris*. Bureau d'Enquetes et d'Analyses, July 2012: 217.

2 **de Crespigny was forced to go deeper:** Richard de Crespigny, *QF32* (Macmillan Australia, 2012). Australian Transport Safety Bureau, "In-flight Unconfined Engine Failure Overhead Batam Island, Indonesia, 4 November 2010, VH-OQA, Airbus A380–842," *ATSB Transport Safety Report, Aviation Safety Occurrence Investigation—AO-2010-089 Final 27 June, 2013.*

3 **"syntax, sequence, and procedure":** Robert Moreau, personal communication with author, December 2014.

4 **what happened on Air France 447:** For a journalistic summary of the accident, see William Langewiesche, "The Human Factor," *Vanity Fair*, October 2014.

5 **summarized the results this way:** J. K. Lauber quoted in Nadine Sarter et al., *Cognitive Engineering in the Aviation Domain*, 1st edition (CRC, 2000), 275–76.

6 **a joint industry-FAA working group:** PARC/CAST Flight Deck Automation Working Group, "Operational Use of Flight Path Management Systems," Federal Aviation Administration, September 5, 2013.

7 **"We're not eliminating human error":** Kathy Abbott, personal communication with the author, November 2013.

8 **"The twentieth century was born yearning for a new type of hero":** Robert Wohl, *A Passion for Wings: Aviation and the Western Imagination, 1908–1918* (New Haven: Yale University Press, 1994), 29.

9 **The story of the pilot in the twentieth century:** Wohl, *A Passion for Wings*, 30.

10 **"If you can't fly without looking at your airspeed":** Beryl Markham, *West with the Night* (New York: North Point Press, 2013).

11 **Doolittle flew the first instrument flight in 1929** James Harold Doolittle and Carroll V. Glines, *I Could Never Be So Lucky Again* (New York: Bantam Books, 1992). Richard Hallion, *Legacy of Flight: The Guggenheim Contribution to American Aviation* (Seattle: University of Washington Press, 1977). Erik M. Conway, *Blind Landings: Low-Visibility Operations in American Aviation, 1918–1958* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2006).

12 **intentionally called them "instruments":** Michael Aaron Dennis, "A Change of State: The Political Cultures of Technical Practice at the MIT Instrumentation Laboratory and the Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, 1930–1945," PhD dissertation, 1990. Donald A. MacKenzie, *Inventing Accuracy: A Historical Sociology of Nuclear Missile Guidance* (Cambridge, MA: MIT Press, 1993).

torical Sociology of Nuclear Missile Guidance (Cambridge, MA: MIT Press, 199[illegible]).

13 **Buck's memoir of the ensuing forty years:** Robert Buck, *North Star over My Shoulder: A Flying Life* (New York: Simon & Schuster, 2002). Robert Buck, *The Pilot's Burden: Flight Safety and the Roots of Pilot Error,* 1st edition (Ames: Iowa State University, 1994).

14 **began to replace the terms "pilot" and "copilot":** Robert Daley, *An American Saga: Juan Trippe and His Pan Am Empire* (Riviera Productions Ltd., 1980; Kindle edition, 2010) location 2332.

15 **airlines began sending licensed mechanics along:** Nick Komons, *The Third Man: A History of the Airline Crew Complement Controversy, 1947–1981* (Washington, DC: Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 1987), 12.

16 **U.S. government began requiring professional flight engineers:** Ibid., 12.

17 **During congressional hearings they presented photographs:** Ibid., 48.

18 **"knobs, dials, and gauges vanished from the cockpit":** Ibid., 37

19 **"He is involved but detached":** Richard Collins, "Look! No Hands!," *Flying* (January 1986): 73–75.

20 **Richard de Crespigny recalled the autoland:** De Crespigny, *QF32*.

21 **"Watching the precise performance":** Collins, "Look! No Hands!"

22 **according to the 2013 FAA working group on automation:** Flight Deck Automation Working Group, "Operational Use of Flight Path Management Systems," Federal Aviation Administration, September 5, 2013.

23 **Thomas is an advocate for HUDs:** Interviews with HUD users were conducted under a human subjects research protocol. Though many of the subjects permitted their real names to be used, in keeping with ethnographic conventions I am using pseudonyms for pilots, engineers, and company names.

24 **One study found that the pilot's stresses when using autoland:** Daniel Bandow, "Head Up Guidance System Model 2100 and Human-Machine Interaction," DBS Systems.

25 **"Since the HUD is flight path-centric":** Robert Moreau, personal communication with author, December 2014.

26 **In 2009 the Flight Safety Foundation:** Flight Safety Foundation, "Head-up Guidance System Technology: A Clear Path to Increasing Flight Safety," Special Report, November 2009.

27 **The Asiana crew had no heads-up display:** National Transportation Safety Board Investigative Hearing: Crash of Asiana Flight 214 San Francisco 7/6/2014, archived at: http://www.youtube.com/watch? v= 9X-gmagrMjs.

28 **its visual equivalent, a system of fixed runway lights:** These lights use lenses to project red and white light beams at different angles into the sky. If the pilot is too high, the beams will appear white, too low and they appear red. Red and white means the aircraft is on the glide slope.

29 **The Asiana pilot flying said he was stressed about landing:** National Transportation Safety Board, *Descent Below Visual Glidepath and Impact With Seawall, Asiana Airlines Flight 214,* San Francisco, California. July 6, 2013. NTSB Number: AAR1401, June 24, 2014: 99.

29 **"Without greater opportunity for pilots to manually fly the airplane":** NTSB Asiana flight 214 report, 62–63, 102–3. In the other 5 percent of landings the type was not recorded.

30 **Some of these innovations have been called "information automation":** Charles E. Billings, *Aviation Automation: The Search for a Human-Centered Approach,* Human Factors in Transportation series (Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1997).

第4章 远程战争：无人战斗机和现代战争中人类角色的重新定义

1 **transported into a remote war zone:** This account, and all ethnographic descriptions and quotes in this chapter, are drawn from Timothy M. Cullen, "*The MQ-9 Reaper Remotely Piloted Aircraft: Humans and Machines in Action,*" Massachusetts Institute of Technology dissertation, 2011. Cullen's dissertation, after it had been accepted by a faculty committee (which I chaired) at MIT, though it contained no classified information, was heavily redacted by the air force before being placed in the MIT archives. The MIT committee accepted the action on the condition it could be summarized in this book.

2 **public presentations and memoirs:** Matt Martin and Charles W. Sasser, *Predator: the Remote-Control Air War over Iraq and Afghanistan: A Pilot's Story* (Minneapolis, MN: Zenith Press, 2010). Martin was an active duty air force officer when he cowrote this memoir, which means he had to have it cleared by the service before publication. Therefore this account can be considered a quasi-official account of a Predator operator, providing some insight into what the air force would like to present as the Predator operator's experience. Nonetheless, because of Martin's public persona, at least some in the Predator community consider him a pariah or, in the words of one officer, "a leper."

3 **"We shouldn't have pilots stick-and-ruddering UAVs":** Houston R. Cantwell, "Operators of Air Force Unmanned Aircraft Systems: Breaking Paradigms," *Air & Space Power Journal* (Summer 2009): 70.

4 **the air force put more RPA operators:** United States Air Force, RPA Vector: *Vision and Enabling Concepts 2013–2038*, 2014: 18.

5 **a CAP requires more than a hundred and fifty people:** J. R. Gear, "USAF RPA Update: Looking to the Future," U.S. Air Force Briefing Slides, June 3, 2011. Unclassified.

6 **the symbol of all that is wrong with American technological power:** Bradley Jay Strawser and Jeff McMahan, *Killing by Remote Control: The Ethics of an Unmanned Military* (Oxford; New York: Oxford University Press, 2013). Ronald Arkin, *Governing Lethal Behavior in Autonomous Robots,* 1st edition (Boca Raton, FL: Chapman and Hall/CRC, 2009). For some of the more thoughtful voices in the debate, see "The Three Faces of Drone War," TomDispatch.com.

7 **Predator has been a focal point:** In what follows I will use "Predator" to refer to both aircraft, as "Reaper" is technically "Predator B," though I will discuss some of the differences.

8 **"The Nintendo mentality is a detached mentality":** Chris Cole, Mary Dobbing, and Amy Hailwood, "Convenient Killing: Armed Drones and the 'Playstation' Mentality," The Fellowship of Reconciliation, Oxford, UK: September, 2010.

9 **"peripheral systems locked in a seemingly endless, inglorious loop":** Thomas P. Ehrhard, *Unmanned Aerial Vehicles in the United States Armed Services: A Comparative Study of Weapon System Innovation* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2000), 16.

10 **their arrow-straight trajectories:** David Mindell, *Between Human and Machine: Feedback, Control, and Computing Before Cybernetics* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2000).

11 **A few even flew in Iraq in 2003:** "Ryan Firebee," Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Ryan_Firebee, accessed June 16, 2015.

12 **little evidence of this "white scarf syndrome":** Ehrhard, *Unmanned Aerial Vehicles,* 41.

13 **"only the obscure novelty of a mechanical feat":** Ibid., 652, 674.

14 **Karem said in a recent interview:** Mark Harris, "The Dronefather," *The Economist* 405, no. 8813 (December 2012). Also see Richard Whittle, "The Man Who Invented the Predator," *Air & Space* (April 2013).

15 **Jumper saw real-time video feeds:** Thomas P. Ehrhard and General Billy Mitchell Institute for Airpower Studies, *Air Force UAVs: The Secret History* (Arlington, VA: Mitchell Institute Press, 2010), 49–50. Jon Jason Rosenwasser and Fletcher School of Law and Diplomacy, *Governance Structure and Weapon Innovation: The Case of Unmanned Aerial Vehicles* (Medford, MA: Tufts University, 2004), 256.

versity, 2004), 256.

16 **benefitted from the new ubiquity of GPS:** Ehrhard, *Unmanned Aerial Vehicles,* 41, 185.

17 **The crews began to refer to the phenomenon as "Predator porn":** Richard Whittle, *Predator: The Secret Origins of the Drone Revolution,* 1st edition (New York: Henry Holt and Co., 2014), 115, 128.

18 **this secretive outfit:** Bill Grimes, *The History of Big Safari* (Bloomington, IN: Archway Publishing, 2014).

19 **Training and employment standards:** Cullen, "The MQ-9 Reaper," 216.

20 **The pilots monitored their timing and flight paths:** William B. O'Connor, *Stealth Fighter: A Year in the Life of an F-117 Pilot* (MBI Publishing Company LLC, 2012). O'Connor does not draw attention to the fact that the aircraft was under computer control during the bombing run, but it is implicit in the narrative.

21 **Nonrated pilots still had to have civilian commercial pilot ratings:** Wayne Chappelle, Kent McDonald, and Katharine McMillan, "Important and Critical Psychological Attributes of USAF MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper Pilots According to Subject Matter Experts." Air Force Research Laboratory 711th Human Performance Wing, May 2011. AFRL-SA-WP-TR-2011-0002. (USAF), U.S. Air Force, USAF Accident Investigation Board, World Spaceflight News, U.S. Military, and Department of Defense (DoD), *U.S. Air Force Aerospace Mishap Reports: Accident Investigation Boards for UAV/UAS Remotely Piloted Aircraft (RPA) Incidents Involving the MQ-1B Predator in Afghanistan, Iraq, and California* (Progressive Management Publications, Kindle edition, 2012), location 1745–61.

22 **One early Predator pilot was shocked to find:** Whittle, *Predator,* 96–100.

23 **a "dialogue of the deaf":** Houston R. Cantwell, *Beyond Butterflies: Predator and the Evolution of Unmanned Aerial Vehicles in Air Force Culture* (n.p.: Biblioscholar, 2012), 25.

24 **exchange video and voice communications directly with CIA:** National Commission on Terrorist Attacks, *The 9/11 Commission Report: Final Report of the National Commission on Terrorist Attacks Upon the United States* (New York: W. W. Norton & Company, 2004), 189–90. Whittle, *Predator,* 151–61.

25 **On their seventh flight, on September 27:** Whittle, *Predator, 151–61.*

26 **He ordered Big Safari to begin arming Predator:** Grimes, *The History of Big Safari,* 332.

27 **was seen as politically and legally troubling:** Whittle, *Predator,* 211, 222. *9/11 Commission Report,* 211–12.

28 **Confusion between the CIA and the air force:** Whittle, *Predator,* 243–53.

29 **One 2011 study:** Joseph Ouma, Wayne L. Chappelle, and Amber Salinas, *Facets*

29 One 2011 study: Joseph Ouma, Wayne L. Chappelle, and Amber Salinas, *Facets of Occupational Burnout Among U.S. Air Force Active Duty and National Guard/*

Reserve MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper Operators. Air Force Research Laboratory Report AFRL-SA-WP-TR-2011-0003, 2011: 11–12.

30 **in the 1970s the "guy in back" was eliminated:** Steven A. Fino, "Flying Knights or Flying Scientists? A Cognitive History of the US Air Force Fighter Pilot in Air-to-Air Combat, 1950–1980," PhD Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 2014.

31 **"For every disgruntled [Predator] pilot hanging on:** Linda Shiner, "Predator," *Air & Space Magazine (*April–May 2001): 48, www.airspacemag.com/military-aviation/predator-first-watch-2096836/, accessed February 4, 2014.

32 **Crews then coordinate via text messages:** Cantwell, *Beyond Butterflies,* 28.

33 **Predator crews at first added a FalconView display:** Cullen, "The MQ-9 Reaper," 258. Jon R. Lindsay, "'War upon the Map': User Innovation in American Military Software," *Technology and Culture* 51, no. 3 (2010): 619–51.

34 **Predator crews would routinely monitor . . . separate conversations:** Cullen, "The MQ-9 Reaper," 257.

35 **In the words of David Deptula:** David Deptula, "Drones Best Weapons We've Got for Accuracy, Control, Oversight," Breaking Defense Web site, http://breakingdefense.com/2013/02/retired-gen-deputula-drones-best-weapons-weve-got-for-accurac, accessed May 19, 2014.

36 **users reported seeing messages like "concur" or "shoot now":** Cullen, "The MQ-9 Reaper," 258.

37 **Predator crews began to feel like "chat-activated sensors":** Cullen, "The MQ-9 Reaper," 259.

38 **the presence is through an American lens:** This idea is elaborated in Derek Gregory, "From a View to a Kill: Drones and Late Modern War," *Theory, Culture & Society* 28, no. 7–8 (December 1, 2011): 188–215.

39 **has accounted for civilian casualties:** David S. Cloud, "Anatomy of an Afghan War Tragedy," *Los Angeles Times,* April 10, 2011, http://articles.latimes.com/2011/apr/10/world/la-fg-afghanistan-drone-20110410, accessed January 9, 2015.

40 **the air force prohibited Predator crews from using the term:** Quoted in Cloud, "Anatomy of an Afghan War Tragedy."

41 **those who have looked at civilian casualties:** Avery Plaw, "Counting the Dead: The Proportionality of Predation in Pakistan," in Strawser and McMahan, *Killing by Remote Control,* Chapter 7.

42 **A study of stress and burnout among Predator operators:** Ouma et al., *Facets of Occupational Burnout Among U.S. Air Force Active Duty and National Guard/*

of Occupational Burnout Among U.S. Air Force Active Duty and National Guard/ Reserve MQ-1 Predator and MQ-9 Reaper Operators, 1.

43 **reported to *GQ* magazine:** Heather Linebaugh, "I Worked on the US Drone Program: The Public Should Know What Really Goes On," *The Guardian*, December 29, 2013, http://www.theguardian.com/commentisfree/2013/dec/29/drones-us-military. Matthew Power, "Confessions of a Drone Warrior," *GQ* magazine, March 2013. Elisabeth Bumiller, "Drone Pilots, Waiting for a Kill Shot 7,000 Miles Away," *New York Times*, July 29, 2012, http://www.nytimes.com/2012/07/30/us/drone-pilots-waiting-for-a-kill-shot-7000-miles-away.html.

44 **A 2013 air force study found:** Jean L. Otto and Bryant J. Webber, "Mental Health Diagnoses and Counseling among Pilots of Remotely Piloted Aircraft in the United States Air Force," *MSMR* 20, no. 3 (March 2013): 3–8.

45 **The air force responded:** Lee Ferran, "Drone 'Stigma' Means 'Less Skilled Pilots' at Controls of Deadly Robots," ABC News, April 29, 2014, http://abcnews.go.com/Blotter/drone-stigma-means-skilled-pilots-controls-deadly-robots/story?id=23475968 accessed May 19, 2014.

46 **Many pilots point out the benign air environment:** Dan Hampton, *Viper Pilot: A Memoir of Air Combat* (New York: HarperCollins, 2012).

47 **Blair had served as a pilot of both a C-130 gunship and a Predator:** Dave Blair, "Ten Thousand Feet and Ten Thousand Miles: Reconciling Our Air Force Culture to Remotely Piloted Aircraft and the New Nature of Air Combat," *Air& Space Power Journal* 26, no. 3 (May–June 2012): 61–69. On this issue also see Robert Sparrow, "War Without Virtue," in Strawser and McMahan, *Killing by Remote Control*, Chapter 5.

48 **"No way is a UAV pilot [sitting] in a box":** Blair, "Ten Thousand Feet."

49 **forced the air force to examine its notions of "airmanship":** Cantwell, "Operators of Air Force Unmanned Aircraft Systems."

50 **In 2009 the air force created a new career classification:** Aaron Church, "RPA Ramp Up," *Air Force 94*, no. 6 (2011): 58–60.

51 **Leon Panetta announced a new decoration:** Leon Panetta, "Distinguished Warfare Medal," Memorandum, February 13, 2013, http://www.defense.gov/news/distinguishedwarfaremedalmemo.pdf, accessed July 23, 2014.

52 **Within weeks, the new medal was canceled:** "VFW Believes Distinguished Warfare Medal Should Not Outrank the Bronze Star, Purple Heart," *VFW—Veterans of Foreign Wars*, http://www.vfw.org/News-and-Events/Articles/2013-Articles/VFW-WANTS-NEW-MEDAL-RANKING-LOWERED/, accessed July

23, 2014. "Military Order of the Purple Heart Opposes Precedence of New Defense Medal," Military Order of the Purple Heart, February 15, 2013, http://www.purpleheart.org/News.aspx?Identity=238, accessed July 23, 2014. "US

Military Announces New Medal for Cyberwarfare and Drone Operation," *The Verge*, http://www.theverge.com/2013/2/13/3985802/us-military-announces-distinguished-warfare-medal-for-cyberwarfare-drones, accessed May 17, 2014. "US Defense Secretary Downgrades Drone Medal after Outcry," *The Verge*, http://www.theverge.com/2013/4/15/4228112/defense-secretary-downgrades-drone-medal-distinguishing-device, accessed May 17, 2014. "Distinguished Warfare Medal," *Wikipedia*, May 4, 2014, http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Distinguished_Warfare_Medal&oldid=607013488, accessed May 16, 2014. "Medals for Drone Warriors Canceled," *New York Times*, April 15, 2013, http://www.nytimes.com/2013/04/16/us/politics/medals-for-drone-warriors-canceled.html, accessed July 23, 2014.

53 **"whether there isn't danger enough to give us glory":** William Keeler, quoted in David Mindell, *Iron Coffin: War, Technology, and Experience Aboard the USS Monitor*, 2nd edition (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2012).

第5章 太空旅行：宇航员与机器人探索者的火星之舞

1 **Most of them said they turned off the digital aids** David Mindell, *Digital Apollo: Human and Machine in Spaceflight* (Cambridge, MA: MIT Press, 2008).

2 **The closest the autoland came to landing the shuttle:** L. B. McWhorter et al., "Space Shuttle Entry Digital Autopilot," SP-2010-3408, NASA Johnson Spaceflight Center, 2010. G. Tsikalas, "Space Shuttle Autoland Design," American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1982. T. T. Myers et al., "Space Shuttle Flying Qualities and Flight Control System Assessment Study—Phase II," NASA Contractor Report 170406, December 1983. H. Law and L. B. McWhorter, "Shuttle Autoland Status Summary" in *Space Programs and Technologies Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992–1273. For comments on later autoland tests that were canceled, see "Breaking Through," Wayne Hale's Blog, http://waynehale.wordpress.com/2011/03/11/breaking-through/, accessed July 4, 2014.

3 **observers asked whether people still need to venture into space:** MIT Space, Policy, and Society Working Group, "The Future of Human Spaceflight," white paper, December 2008.

4 **Von Braun included an orbiting space telescope:** Wernher von Braun, "Crossing the Last Frontier," *Collier's*, March 22, 1952, 24–25, discussed in H. McCurdy, "Observations on the Robotic versus Human Issue in Spaceflight," in Steven J. Dick and Roger D. Launius, eds., *Critical Issues in the History of Spaceflight,* NASA History Series (Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 2005): 77–106.

5 **"All the astronaut has to do":** Comments from Cepollina, Hoffman, and Musgrave and mission narrative from "Rescuing Hubble: MIT Aero/Astro Gardner Lecture/Sympoisum," November 13, 2013. Video available online at http://teachingexcellence.mit.edu/category/must-see/rescuing-hubble, accessed July 3, 2014. Additional comments from Jeffery Hoffman, and oral history interviews with Jennifer Ross-Nazzal, April 2, November 3, November 12, and November 17, 2009. NASA Johnson Space Center Oral History Project.

6 **space observers saw the Hubble as the first "victim":** Daniel Morgan, "Hubble Space Telescope: Should NASA Proceed with a Servicing Mission?" *Congressional Research Service Reports,* January 1, 2006: 3.

7 **His wariness was bolstered by a study:** *Assessment of Options for Extending the Life of the Hubble Space Telescope: Final Report,* http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11169, accessed July 4, 2014.

8 **Arthur Whipple, systems engineer:** Arthur Whipple, "A Comparison of Human and Robotic Servicing of the Hubble Space Telescope." Presentation to Future In-Space Operations (FISO) Teleconference, October 14, 2009.

9 **It used more than a hundred brand-new tools:** Jill McGuire, "HST Crew Aids and Tools: Working in Space Today and Tomorrow." Presentation at the Goddard Space Flight Center, September 14, 2009. For imagery of the mission see Dennis R. Jenkins and Jorge R. Frank, *Servicing the Hubble Space Telescope: Shuttle Atlantis, 2009* (North Branch, MN: Specialty Press, 2009).

10 **"It has unfolded in excruciatingly slow motion":** Steven Squyres, quoted in William J. Clancey, *Working on Mars: Voyages of Scientific Discovery with the Mars Exploration Rovers* (Cambridge, MA: MIT Press, 2012), 129.

11 **"best done by one or two geologists":** Comments by Kip Hodges at Exploration Telerobotics Symposium, NASA Goddard Space Flight Center, May 2–3, 2012, http://telerobotics.gsfc.nasa.gov, accessed July 3, 2014.

12 **Historian Naomi Oreskes points out:** Naomi Oreskes, *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science* (New York: Oxford University Press, 1999).

13 **"A well-trained astronaut can talk just as well as a trained geologist":** Interview with geologist, March 2005, notes in the author's possession.

14 **describes the Apollo work as "really telerobotics":** Comments by Kip Hodges at Exploration Telerobotics Symposium.

15 **Head emphasizes it was also important to turn loose the astronauts:** Jim Head

and Dave Scott, discussion with the author at “Engineering Apollo” class at MIT,

16 **has recently been working on such vehicles:** Akil J. Middleton, "Modeling and Vehicle Performance Analysis of Earth and Lunar Hoppers," Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2010. P. Cunio et al., "Further Development and Flight Testing of a Prototype Lunar and Planetary Surface Exploration Hopper: Update on the TALARIS Project" in *AIAA SPACE 2010 Conference & Exposition*, American Institute of Aeronautics and Astronautics.

17 **a record for off-earth planetary driving:** "NASA's Long-Lived Mars Opportunity Rover Sets Off-World Driving Record," NASA news release, July 28, 2014.

18 **"planetary jet lag":** Zara Mirmalek, "Solar Discrepancies: Mars Exploration and the Curious Problem of Inter-Planetary Time," PhD Dissertation, University of California–San Diego, 2008.

19 **he became interested in the scientists' experience of presence:** All Clancey quotes from William J. Clancey, "Becoming a Rover," in *Simulation and Its Discontents*, Sherry Turkle, ed. (Cambridge, MA: MIT Press, 2009), 107–27, or William J. Clancey, *Working on Mars: Voyages of Scientific Discovery with the Mars Exploration Rovers* (Cambridge, MA: MIT Press, 2012).

20 **"My body is always the rover":** Quoted in Clancey, "Becoming a Rover," 7, 45, 118. For scientists' bodily involvement in the rovers, see Janet Vertesi, "Seeing Like a Rover: Visualization, Embodiment, and Interaction on the Mars Exploration Rover Mission," *Social Studies of Science* 42 (2012): 393–414.

21 **he often refers to the team itself being on Mars:** Steven Squyres, *Roving Mars: Spirit, Opportunity, and the Exploration of the Red Planet* (New York: Hyperion; London: Turnaround, 2006).

22 **"the slope immediately in front of us":** Squyres, quoted in Clancey, *Working on Mars*, 100. Also see Squyres, *Roving Mars*, 100.

23 **"enabling a feeling of synergistic operation":** Clancey, *Working on Mars*, 58.

24 **a "fundamental fallacy":** Comments by Jim Bell and Jake Bleacher at Exploration Telerobotics Symposium, NASA Goddard Space Flight Center, May 2–3, 2012, http://telerobotics.gsfc.nasa.gov/, accessed July 3, 2014. Also see Clancey, *Working on Mars*, 129–37.

25 **One of MER's robotics engineers was "surprised":** Clancey, *Working on Mars*, 117–21.

26 **"When Congress starts using the phrase 'human presence'":** Dan Lester, "Achieving Human Presence in Space Exploration," *Presence* 22, no. 4 (Fall 2013): 345–49.

27 **Lester and his NASA colleague Harley Thronson argue:** Dan Lester and Harley Thronson, “Human Space Exploration and Human Spaceflight: Latency and the Cognitive Scale of the Universe,” *Space Policy* 27, no. 2 (May 2011): 89–93.

第6章 未来世界：人类和机器人角色的重新定义

1 **"I don't have maps this good of Iceland":** Dana Yoerger, interview with the author, Woods Hole, MA, August 2011. D. R. Yoerger, A. M. Bradley, M. H. Cormier, W. B. F. Ryan, and B. B. Walden, "High Resolution Mapping of a Fast Spreading Mid-Ocean Ridge with the Autonomous Benthic Explorer," *11th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology (UUST99)*, Durham, New Hampshire, August 1999.

2 **Yoerger and his team developed methods:** Christopher German, Dana R. Yoerger, Michael Jakuba, Timothy M. Shank, Charles H. Langmuir, and Ko-ichi Nakamura, "Hydrothermal Exploration with the Autonomous Benthic Explorer," *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 55, no. 2 (February 2008): 203–19.

3 **In 2010 it used similar techniques to map the underwater plume:** Richard Camilli et al., "Tracking Hydrocarbon Plume Transport and Biodegradation at Deepwater Horizon," *Science* 330, no. 6001 (October, 2010): 201–4.

4 **"we had no idea what was happening below":** Author interview with Rich Camilli, Woods Hole, MA, August 2011.

5 **"We want to make cars that are better than drivers":** Burkhard Bilger, "Auto Correct," *The New Yorker,* November 25, 2013, http://www.newyorker.com/reporting/2013/11/25/131125fa_fact_bilger?currentPage=all.

6 **"without traffic accidents or congestion":** Sebastian Thrun, "Self-Driving Cars Can Save Lives, and Parking Spaces," *New York Times,* December 5, 2011, http://www.nytimes.com/2011/12/06/science/sebastian-thrun-self-driving-cars-can-save-lives-and-parking-spaces.html. Sebastian Thrun, "What We're Driving At," Google official blog, http://googleblog.blogspot.com/2010/10/what-were-driving-at.html, accessed July 10, 2014. John Markoff, "A Trip in a Self-Driving Car Now Seems Routine," *Bits Blog,* http://bits.blogs.nytimes.com/2014/05/13/a-trip-in-a-self-driving-car-now-seems-routine, accessed July 10, 2014. John Markoff, "Google Cars Drive Themselves, in Traffic," *New York Times,* October 9, 2010, http://www.nytimes.com/2010/10/10/science/10google.html.

7 **The Google car's successful driving tests:** Mark Harris, "How Google's Autonomous Car Passed the First U.S. State Self-Driving Test," IEEE Spectrum Online, September 10, 2014, http://spectrum.iee.org. *Idem.*, "These Are the Secrets Google Wanted to Keep about Its Self-Driving Cars," *Quartz,* http://qz.com/252817/these-are-the-secrets-google-wanted-to-keep-about-its-self-driving-cars/, accessed November 18, 2014. Mark Harris, "How Much Training Do You

Need to Be a Robocar Test Driver? It Depends On Whom You Work For," IEEE

Spectrum Cars That Think, February 24, 2015, http://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/human-factors/how-much-training-do-you-need-to-be-a-robocar-test-driver-it-depends-on-whom-you-work-for.

8 **He put a video camera on the dashboard of his car:** John Leonard, "Conversations on Autonomy," presentation, MIT, March 13, 2014. John Markoff, "Police, Pedestrians and the Social Ballet of Merging: The Real Challenges for Self-Driving Cars," *Bits Blog,* http://bits.blogs.nytimes.com/2014/05/29/police-bicyclists-and-pedestrians-the-real-challenges-for-self-driving-cars/, accessed July 10, 2014.

9 **We know that driverless cars will be susceptible:** John Markoff, "Collision in the Making Between Self-Driving Cars and How the World Works," *New York Times,* January 23, 2012, http://www.nytimes.com/2012/01/24/technology/googles-autonomous-vehicles-draw-skepticism-at-legal-symposium.html. Will Knight, "Proceed with Caution toward the Self-Driving Car," *MIT Technology Review,* April 16, 2013, http://www.technologyreview.com/review/513531/proceed-with-caution-toward-the-self-driving-car/. M. L. Cummings and Jason Ryan, "Shared Authority Concerns in Automated Driving Applications," *Journal of Ergonomics,* S3:001. doi:10.4172/2165-7556.S3-001

10 **how will they rush into the loop quickly enough:** Bianca Bosker, "No One Understands the Scariest, Most Dangerous Part of a Self-Driving Car: Us," *Huffington Post,* September 16, 2013, accessed July 10, 2014.

11 **Google discovered that "people are lazy":** Tom Simonite, "Lazy Humans Shaped Google's New Autonomous Car," *MIT Technology Review* (May 30, 2014), http://www.technologyreview.com/news/527756/lazy-humans-shaped-googles-new-autonomous-car/. Will Knight, "Driverless Cars Are Further Away Than You Think," *MIT Technology Review* (October 22, 2013), http://www.technologyreview.com/featuredstory/520431/driverless-cars-are-further-away-than-you-think/.

12 **"kick back, relax, and enjoy the ride":** Chris Urmson, "Just Press Go: Designing a Self-Driving Vehicle," Google official blog, May 27, 2014, http://googleblog.blogspot.com/2014/05/just-press-go-designing-self-driving.html, accessed July 9, 2014. Evan Ackerman, "Google's Autonomous Cars Are Smarter Than Ever at 700,000 Miles," IEEE Cars that Think Blog, April 29, 2014, accessed July 10, 2014.

13 **published the details of the crash:** Luke Fletcher et al., "The MIT–Cornell Collision and Why It Happened," *Journal of Field Robotics* 25, no. 10 (2008): 775–807.

14 **Lawyers and legal scholars are just beginning:** For example, see David C.

14 **Lawyers and legal scholars are just beginning:** For example, see David C. Vladeck, “Machines Without Principals: Liability Rules and Artificial Intelligence,” *Washington Law Review* 89, no. 1 (March 2014): 117–50. Curtis Karnow, “The Application of Traditional Tort Theory to Embodied Machine Intelligence,” paper presented at the Robotics and Law Conference, Center for Internet and Society, Stanford Law School, April 2013. Also see the blog of the Artificial Intelligence and Robotics Committee of the American Bar Association, http://apps.americanbar.org/dch/committee.cfm?com=ST248008.

15 **The certification approach for software on life-critical systems:** See, for example, DO-178B, the software certification standard required by the FAA: http://en.wikipedia.org/wiki/DO-178B.

16 **define levels of automation in cars:** Erik Stayton, “Driverless Dreams: Narratives, Ideologies, and the Shape of the Automated Car,” Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2015.

17 **“Navy Drones with a Mind of Their Own”:** James Paduano, et al., “TALOS: An Unmanned Cargo Delivery System for Rotorcraft Landing to Unprepared Sites.” Submitted to American Helicopter Society 2015 Annual Forum, May 2015. Dionne Nissenbaum, “Navy Drones with a Mind of Their Own,” *Wall Street Journal*, April 5, 2014. For a more nuanced view, see Graham Warwick, “Thinking Helicopters: Manned or Unmanned, Rotorcraft Stand to Benefit from Autonomy,” *Aviation Week & Space Technology* (April 21, 2014): 26–7.

18 **Its 2012 pilot report on an aircraft called Centaur:** Fred George, “‘Flying’ the Centaur Optionally Piloted Aircraft,” *Aviation Week & Space Technology* (August 6, 2012).

第7章 人机协作：一个美丽的科技新世界

1 **"I don't use the word 'drone'":** Sara Sorcher, "Drone Lobbyist: 'I Don't Use the Word Drone," *National Journal*, March 27, 2013, http://www.nationaljournal.com/daily/drone-lobbyist-i-don-t-use-the-word-drone-20130327

2 **"The idea of autonomy denies":** Matthew Crawford, *Shop Class as Soulcraft: An Inquiry into the Value of Work* (New York: Penguin Books, 2010).